



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۳۰۱ تا ۳۱۴
Vol. 48, No. 3, Fall 2016, pp. 301-314



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست

Amirkabir Journal of Science & Research
Civil and Environmental Engineering
(ASJR-CEE)

کنترل خودکار ضوابط ایمنی تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی به کمک سامانه داده‌برداری پویا

مسعود طبیبی^{۱*}، محمدرضا کلوشانی^۲، علی فاطمی^۳

- ۱- استادیار، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- کارشناس ارشد پردازش سیگنال، دانشکده الکترونیک، دانشگاه NTNU، تروندهام، نروژ

(دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۴)

چکیده

تدوین استراتژی‌های مناسب در راستای بهبود ایمنی مسیر، نیازمند اطلاعات کاملی پیرامون مشخصات راه است. سامانه داده‌برداری پویا به عنوان یکی از روش‌های بازرسی ایمنی، روندی است که پایگاه جامعی از داده‌ها شامل تصاویر ویدیویی و اطلاعات جغرافیایی را ارائه می‌دهد. هدف این مقاله، معرفی روشی خودکار است که علاوه بر تحلیل داده‌های به دست آمده از این سامانه، ضوابط ایمنی تابلوهای محدودیت سرعت را ارزیابی و با حفظ دقت کافی در این امر، در وقت و هزینه نیز صرفه‌جویی نماید. روش پیشنهادی در فاز نخست، تحلیل داده‌های جغرافیایی نقاط محور میانی مسیر به منظور تعیین مشخصات هندسی قوس‌های افقی و در فاز دوم، پردازش تصاویر ویدیویی، به منظور شناسایی و تشخیص تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی را انجام داده و در نهایت، ضوابط ایمنی مرتبط با محل و مقدار درج‌شده بر تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی را کنترل می‌کند. دقت روش پیشنهادی در فاز نخست، در دو بخش تعیین نقطه آغاز قوس افقی و تعیین شعاع به ترتیب برابر با ۹۷ و ۹۰ درصد و در فاز دوم بر اساس پردازش تصاویر برداشتی و بکارگیری روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در دو بخش، شناسایی تابلو و تشخیص مقدار درج‌شده بر آن به ترتیب برابر با ۹۲ و ۹۷ درصد اثبات شده است.

کلمات کلیدی:

بازرسی ایمنی مسیر، پردازش تصویر، تابلوی محدودیت سرعت، سامانه داده‌برداری پویا، سامانه موقعیت‌یاب جهانی، قوس افقی، ماشین بردار پشتیبان

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please site this article using:
Tabibi, M., Koloushani, M. R., and Fatemi, A. M., 2016. "Introducing Automatic Control Method of Speed Limit Signs Safety Standards before Horizontal Curves via Mobile Mapping System". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(3), pp. 301-314.
DOI: 10.22060/ceej.2016.798
URL: http://ceej.aut.ac.ir/article_798.html

نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات: E-mail: masuod.tabibi@gmail.com



۱- مقدمه

تأمین شرایط ایمن برای حمل و نقل جاده‌ای از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و هزینه‌های زیادی نیز برای مهار روند افسار گسیخته تصادفات جاده‌ای صرف می‌شود. ایمنی، عنصر بنیادینی بوده و بازدهی قابل قبول راه، در گروهی حضور مستمر آن است. لازمه بهبود ایمنی مسیر بر اساس نظریه ایمنی، بررسی عوامل و چگونگی تأثیر آن‌ها بر ایمنی است [۱]. یکی از اهداف اصلی بازرسی ایمنی، کنترل ضوابط ایمنی و شناسایی حلقه مرتبط با راه در زنجیره عوامل وقوع تصادف است. شیوه پیشگیرانه بر اساس مشاهدات میدانی، یک شیوه اصلی شناسایی است که به بررسی مشخصات هندسی راه و شناسایی نواقص ایمنی آن تکیه دارد. مشخصات طرح هندسی راه به واسطه تأثیری که بر عملکرد و ادراک راننده دارد، دارای یک پیوند ناگسستنی با ایمنی بوده و ارزیابی این مشخصات به منظور آسیب‌شناسی صحیح نقاط حادثه‌خیز، منجر به اتخاذ تصمیمات مناسب در راستای بهبود ایمنی راه می‌شود [۲].

در تحقیقات پیرامون تأثیر طرح هندسی مسیر بر تصادفات، این نتیجه حاصل شده که وجود هر قوس تند در هر کیلومتر از راه منجر به افزایش ۳۴ درصدی آمار تصادفات تک‌خوردویی می‌شود [۳]. یکی از عوامل مؤثر بر تصادفات واژگونی، تعداد پیچ و خم‌های مسیر و سرعت زیاد ورودی به قوس و در نتیجه دشواری کنترل خودرو هنگام عبور از قوس است [۴]. ۳۵ درصد از تصادفات فوتی در استرالیا در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی از نوع واژگونی بوده است [۴]. همچنین قوس‌های تیز باعث عدم پایداری راننده در موقعیت قرارگیری در خط عبوری و وقوع تصادفات جلو به جلو نیز می‌شود [۵]. شایان ذکر است که تصادفات در قوس‌ها معمولاً شدید بوده و با سطحی از جراحت همراه است [۶]. علاوه بر این، به دلیل ماهیت هندسی قوس‌های افقی، فاصله دید در این بخش‌ها و توانایی راننده در ارزیابی وضعیت مسیر کاهش می‌یابد [۷]. رانندگان به طور کلی در قوس‌ها نسبت به مسیرهای مستقیم، آزادی عمل کمتری دارند و باید رفتار کنترل‌شده‌تری را داشته باشند [۸]. بر این اساس، می‌توان قوس‌ها را به عنوان یکی از نقاط آسیب‌پذیر راه معرفی نمود [۶] که باید به طور پیوسته و دقیق مورد حفاظت و بازرسی قرار گیرد [۹].

از عوامل خطر ساز در قوس‌های افقی، اختلال یا کمبود توجه و تمرکز لازم [۱۰] و عدم درک و آگاهی مناسب به منظور تطبیق سرعت و میزان انحناء است [۱۱]. میزان توجه و تمرکز لازم به منظور تردد با سرعت ۶۴ کیلومتر در ساعت، برای بخش مستقیم مسیر ۲۳ درصد؛ ولی در یک قوس افقی ۱۷ درجه، ۴۲ درصد است [۱۰]. تابلوهای محدودیت سرعت به عنوان مؤلفه‌ای آگاهی‌دهنده، یکی از مهمترین عوامل افزایش توجه و تمرکز راننده بوده [۱۲] و وجود آن‌ها قبل از قوس نیز نشانگر میزان تیزی قوس است و درک مناسبی از میزان انحناء را به راننده القا می‌کند [۱۳].

لازمه کاهش رفتارهای پرخطر و عبور ایمن از قوس، هشدار به موقع تغییر حالت مستقیم مسیر به منظور پیش‌بینی تمهیدات لازم از جمله

کاهش سرعت در فاصله ایمن قبل از قوس و کنترل خودرو است [۱۴]. کاهش سرعت در طول قوس، به شعاع قوس و سرعت ورودی به قوس بستگی دارد [۱۵]. بر اساس مطالعات انجام‌شده، ۶۵/۵ درصد از کاهش سرعت ورودی به قوس در تانژانت ورودی و ۳۴/۵ درصد نیز در بخش منحنی قوس حاصل می‌شود [۱۶]. کاهش سرعت با راه‌های مختلفی از جمله علائم محدودیت سرعت انجام می‌گیرد [۱۷]. وجود علائم و هشدارها در طول مسیر، از جمله تابلوهای محدودیت سرعت به صورت واضح و صحیح در فاصله‌ای ایمن قبل از قوس، مهمترین عامل در تعیین سرعت تردد در قوس توسط افراد قانون‌مدار است [۱۸] و نقش چشمگیری را در کاهش سرعت ورودی به قوس افقی دارد [۱۹]. مطالعات پیرامون تابلوهای محدودیت سرعت با هدف افزایش میزان مقبولیت آن‌ها از سوی رانندگان باید بر اساس ضوابط مهندسی انجام گیرد. در این صورت، یک مقدار محدودیت سرعت منطقی و در عین حال ضامن تردد ایمن در شرایط مطلوب به اطلاع راننده خواهد رسید [۲۰].

مطالب ذکر شده، ضرورت معرفی یک روش هوشمند کنترل خودکار ضوابط ایمنی تابلوهای محدودیت را برای سرعت قوس‌های افقی اثبات می‌کند. روشی که قادر باشد تا علاوه بر کنترل ضوابط ایمنی مربوط به محل قرارگیری تابلوی محدودیت سرعت در فاصله ایمن قبل از قوس افقی و بر اساس سرعت بخش مستقیم مسیر، میزان محدودیت سرعت مورد نیاز درج‌شده بر روی تابلو بر اساس شعاع قوس را نیز معرفی نموده و با وضعیت موجود مقایسه نماید. پیاده‌سازی چنین سامانه‌ای نیازمند تعریف دو فاز مجزا است؛ فاز نخست شامل شناسایی نقطه آغاز و شعاع قوس افقی، محاسبه سرعت متناسب با شعاع و تعیین فاصله ایمن قبل از شروع قوس به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت بر اساس تحلیل داده‌های جغرافیایی نقاط محور میانی مسیر، روابط طرح هندسی راه و ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت بوده و فاز دوم نیز شامل پردازش تصاویر به منظور شناسایی تابلوهای محدودیت سرعت است. فاز دوم به دو مرحله تقسیم می‌شود: در مرحله نخست شناسایی اولیه صورت می‌گیرد و وجود یا عدم وجود تابلوی محدودیت سرعت در فاصله ایمن قبل از قوس مشخص می‌گردد و در مرحله دوم نیز میزان محدودیت سرعت درج‌شده بر تابلو تشخیص داده می‌شود. در نهایت مقدار محدودیت سرعت متناسب با شعاع قوس (به دست آمده در فاز نخست) با مقدار درج‌شده بر روی تابلوی محدودیت سرعت (به دست آمده در فاز دوم) مقایسه شده و نتیجه کنترل ضوابط ایمنی مربوط به مقدار صحیح محدودیت و محل نصب تابلو در فاصله ایمن قبل از قوس به کاربر ارائه می‌شود.

در این مقاله به منظور کنترل ضوابط ایمنی مسیر و شناسایی نواقص موجود، از داده‌های به دست آمده از سامانه داده‌برداری پویا^۱ (*MMS*) استفاده شده است. این سامانه به عنوان یکی از روش‌های برداشت داده‌های مسیر، دارای اجزای مشخصی شامل ابزار تصویربرداری، فاصله‌یاب، موقعیت‌یاب و پیمایش بوده و خروجی اصلی آن شامل

^۱ Mobile Mapping System

نقطه آغاز قوس افقی به صورت خودکار شناسایی می‌شود. بر اساس مطالعات گذشته پیرامون مباحث مربوط به فاز دوم، به منظور شناسایی و تشخیص تابلوهای راهنمایی و رانندگی از روش‌های متعددی استفاده شده است. به عنوان مثال، با بررسی رنگ تابلوهای راهنمایی و رانندگی در فضای HSV^4 ، ویژگی‌های تبدیل موجک هار⁵ و شش شبکه عصبی، تابلوها در شش گروه مجزا دسته‌بندی شده‌اند [۲۸]. همچنین در مواردی دیگر به منظور شناسایی تابلوهای راهنمایی و رانندگی فقط از شکل هندسی آن‌ها (بدون در نظر گرفتن رنگ) و برای تشخیص میزان سرعت درج‌شده بر روی آن‌ها از جداسازی رقم‌های موجود در تابلو و یک شبکه عصبی برای تشخیص اعداد استفاده شده است [۲۹]. روشی نیز برای تشخیص انواع تابلوهای راهنمایی و رانندگی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان ارائه شده که برای دسته‌بندی تابلوها از رنگ‌ها و اشکال هندسی آن‌ها بهره برده است [۳۰]. همچنین به منظور شناسایی تابلو، از فضای رنگ $YCbCr$ و تبدیل هاف⁶ و برای تشخیص میزان محدودیت سرعت درج‌شده بر روی تابلو از چهار شبکه عصبی (LVQ^7 و RBF^8 و MLP^9 و $Hopfield$) و در نظر گرفتن کل تابلو به عنوان ورودی شبکه [۳۱] استفاده شده است. در مواردی نیز از فضای رنگ $YCbCr$ به منظور شناسایی تابلو و از شبکه عصبی MLP برای تشخیص مقدار درج‌شده بر روی آن استفاده گردیده است [۲۷].

در روش ارائه‌شده در این مقاله، در فاز شناسایی تصاویر حاوی تابلوهای راهنمایی و رانندگی، از فضای رنگ $YCbCr$ و شکل هندسی تابلوی محدودیت سرعت (دایره قرمز) کمک گرفته‌شده و برای تشخیص مقدار محدودیت درج‌شده بر روی تابلوها، استفاده از جداسازی اعداد [۲۹] و استخراج ویژگی‌های مناسب از اعداد موجود در تابلو و یک روش طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان [۳۲] پیشنهاد شده است. شناسایی و تشخیص تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی، در دو بخش شناسایی وجود یا عدم وجود تابلو در محل مناسب و تشخیص مقدار محدودیت سرعت درج‌شده بر روی آن، روند جدیدی را نیز در زمینه پردازش تصویر و تشخیص الگو معرفی می‌کند که در مرحله آموزش شبکه هوشمند تعداد به مراتب کمتری از نمونه اولیه مورد نیاز بوده و دقت تشخیص نیز در مقایسه با موارد مشابه بهبود یافته است.

هدف نهایی در این مقاله، ارائه روش نوینی است که قادر باشد تا علاوه بر پردازش داده‌های تصویری و تحلیل مختصات جغرافیایی نقاط محور میانی مسیر، ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی را نیز به طور خودکار کنترل نماید. در راستای رسیدن به این هدف، راه‌های دوخطه جدانشده برون‌شهری مد نظر قرار گرفته است. تابلوهای محدودیت سرعت در این راه‌ها در کشور ایران،

اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های دیجیتالی و انواع قالب‌های تصویری و ویدیویی است. این سامانه با ثبت و ضبط اطلاعات تصویری و جغرافیایی مسیر، قادر است تا آخرین وضعیت ایمنی مسیر را ارائه نماید. بر این اساس، روند بازرسی ایمنی تسهیل شده و می‌توان تصمیم‌های لازم را در مقاطع زمانی مناسب اتخاذ نمود.

مطالعات گذشته از جمله مکان‌یابی عوارض مسیر مثل گاردریل‌ها و علائم افقی و قائم با دقت $0/3$ متر [۲۱]، برداشت سریع و ارزان اطلاعات مکانی و ابعادی از شبکه جاده‌ها [۲۲] و برداشت دقیق جزئیات بدون ایجاد خطر برای کاربران و اختلال در جریان ترافیکی در پژوهش‌های بازرسی روسازی [۲۳]، MMS را به عنوان یک تکنولوژی کاملاً تثبیت‌شده معرفی کرده است.

روند تعیین طرح هندسی راه، مستقل از روند روش جمع‌آوری داده‌ها و ماهیت آن‌ها، باید دارای دقت کافی باشد [۲]. شایان ذکر است که نقاط برداشتی و تصاویر ویدیویی صرفاً داده‌های خام هستند و نشانگر مشخصات و المان‌های راه نخواهند بود. در این مقاله، مراحل تحلیل داده‌ها و پردازش تصاویر توسط نرم‌افزار متلب^۱ انجام گرفته است. کارایی این نرم‌افزار در تحلیل داده‌های مربوط به ابعاد و مختصات مطلق یا نسبی اجسام ظاهر شده در تصاویر (با ابعاد $0/6$ تا 3 متر در فاصله تا 35 متر) با دقت 40 سانتی‌متر اثبات شده است [۲۴]. در مطالعه‌ای پیرامون کنترل‌سازی طرح هندسی مسیر با عوامل انسانی، پردازش اطلاعات جغرافیایی مسیر و ارزیابی وضعیت هندسی توسط این نرم‌افزار و منحنی نواری درون‌یابی و تقریب توابع انجام گرفته [۲۵] که البته در این مطالعه صرفاً محل قوس‌ها افقی معرفی شده و جزئیات هندسی مسیر تعیین نگردیده است.

در مطالعات دیگری پیرامون تحلیل مشخصات قوس‌های افقی مسیر، از بسط دقیق داده‌ها با روش حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا استفاده شده [۲] که در این روش، باید جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد قوس به صورت دستی و به کمک نقشه‌های مسیر توسط کاربر معرفی شود. در مطالعات انجام‌شده پیرامون شناسایی مشخصات هندسی مسیر به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی مسیر، از نرم‌افزارهای کاربردی بر پایه GIS^2 و پردازش اطلاعات مکانی استفاده شده است [۲۶]. در این روش نیز نقطه ابتدا و انتهای قوس باید توسط کاربر به صورت دستی تعیین شود و تنها محاسبات مشخصات هندسی به شکل خودکار انجام می‌گیرد. به منظور تشخیص قوس‌های افقی مسیر، از روش بررسی جریان نوری^۳ تصاویر ویدیویی نیز استفاده شده [۲۷] که در این روش نیز مقدار شعاع قوس تعیین نمی‌شود و صرفاً خروج از حالت مستقیم جاده مد نظر قرار می‌گیرد. در روش پیشنهادی این مقاله به کمک نرم‌افزار متلب و حل دستگاه معادلات مربوط به معادله دایره قوس افقی، شعاع قوس به طور دقیق محاسبه شده و به کمک روابط ریاضی مربوط به مشتق نمودار مسیر

⁴ Hue, Saturation, Value

⁵ Haar wavelet

⁶ Hough Transform

⁷ Learning Vector Quantization

⁸ Radial Basis Function

⁹ Multi Layer Perceptron

¹ MATLAB

² Geographic Information System

³ Optic Flow

حاوی هر دو فونت فارسی و لاتین است.

علائم و تجهیزات ایمنی از جمله تابلوهای محدودیت سرعت در راه‌ها، همواره در معرض آسیب‌هایی ناشی از عوامل نامساعد محیطی، برخوردهای ترافیک عبوری و ناهنجاری‌های اجتماعی قرار دارند و انجام عملیات منظم و مداوم بازرسی به روش *MMS* به منظور کنترل عملکرد مطلوب وضعیت فیزیکی آن‌ها ضروری است. به کمک روش پیشنهادی در این مقاله، این امکان فراهم می‌شود تا کنترل ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت، قبل از قوس‌های افقی به صورت خودکار کنترل و نواقص موجود به کاربر برنامه معرفی شود.

۲- روش کار

روش خودکار پیشنهادی به گونه‌ای است که در یک فاز داده‌های مربوط به مختصات جغرافیایی نقاط محور میانی مسیر را تحلیل و مشخصات هندسی مسیر را ارزیابی می‌کند و در فاز دیگر، تصاویر ویدیویی ضبط‌شده مورد پردازش قرار می‌گیرد و مقدار درج‌شده بر روی تابلوهای محدودیت سرعت و وجود و عدم وجود آن‌ها در تصاویر تشخیص داده می‌شود. در پایان بر اساس مشخصات اجزای *MMS*، وضعیت مسیر و نتایج به دست آمده از دو فاز مذکور، وضعیت ایمنی مرتبط با تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی به طور خودکار بررسی می‌شود. در صورتی که تابلوی محدودیت سرعت تشخیص داده شده در تصاویر مسیر با مقدار مناسب درج‌شده بر روی آن در فاصله مناسب قبل از قوس قرار گرفته باشد، ضابطه ایمنی مذکور تأیید می‌شود و در غیر این صورت، پیغام مناسبی مبنی بر مقدار محدودیت سرعت نامناسب درج‌شده بر روی تابلو و یا محل قرارگیری نادرست تابلو به کاربر برنامه داده می‌شود. ماهیت داده‌های مورد نیاز و مراحل مختلف هر یک از فازهای مذکور در ادامه توضیح داده خواهند شد و نتایج نهایی به دست آمده از کنترل خودکار ضوابط ایمنی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۱- ماهیت داده‌های مورد نیاز

داده‌های به دست آمده از *MMS* قابلیت استفاده را در هر دو فاز دارند. روش مذکور در فاز تحلیل مختصات جغرافیایی، نیازمند داده‌های جغرافیایی مناسب و دقیق از محور میانی راه به منظور تعیین مشخصات هندسی قوس‌های افقی است. این داده‌ها می‌توانند به روش‌های مختلفی از جمله نقشه‌های موجود، اندازه‌گیری ایستا و یا اندازه‌گیری پویا به کمک گیرنده‌های *GPS*^۱ درون‌خودرویی برداشت شوند. در این مقاله، در فاز تحلیل مختصات جغرافیایی از داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط گیرنده *GPS* نصب‌شده در خودروی *MMS* استفاده شده است. به منظور تعریف، آموزش و آزمایش سامانه هوشمند پردازش تصویر در فاز پردازش تصویر، به داده‌های ویدیویی نمونه نیاز بوده و یک مرحله برداشت تصاویر به منظور دستیابی به این داده‌ها انجام شده است. برای

این منظور، از یک دوربین فیلم‌برداری دیجیتال در حالت ۱۵۳۶×۲۰۴۸ نقطه رنگی با قابلیت ضبط تصویر با نرخ ۱۵ تصویر در ثانیه، نصب‌شده بر خودروی *MMS* (در حال حرکت با سرعت ۴۰ کیلومتر در ساعت) استفاده شده است. دوربین مورد استفاده دارای قابلیت متغیر بودن مدت زمان باز و بسته‌شدن دیافراگم^۲ به منظور ضبط هر قاب تصویر بوده که با انتخاب مقادیر کوچک برای این زمان (۱/۱۵۰۰۰ ثانیه)، مشکل کشیدگی^۳ تصاویر ویدیویی ناشی از ضبط در حال حرکت برطرف خواهد شد.

با توجه به هدف تشخیص تابلوها در این مقاله که کنترل ضوابط ایمنی مسیر به کمک تصاویر ویدیویی به دست آمده از *MMS* است، ضرورتی برای پردازش آنی داده‌ها توسط سامانه نیست. بر این اساس می‌توان با فیلم‌برداری از مسیر در ساعات مشخصی از روز با نور کافی، روند پردازش را به نتایج مطلوب‌تری رساند.

علاوه بر تصاویر ویدیویی مسیر و مختصات نقاط محور میانی راه، مجموعه‌ای از اطلاعات اولیه نیز باید توسط کاربر برنامه معرفی شود. این مؤلفه‌ها مربوط به مشخصات *MMS* و وضعیت مسیر بوده که عبارتند از: - حداکثر شیب عرضی در قوس افقی که به منظور بهبود ایمنی و راحتی حرکت و بر اساس نوع راه اعمال می‌شود.

- حداکثر ضریب اصطکاک جانبی لاستیک چرخ اتومبیل با سطح جاده که بر مبنای وضعیت روسازی مسیر و سرعت طرح انتخاب می‌شود. - سرعت تردد خودروی *MMS* که مقداری در حدود ۳۸ تا ۴۳ کیلومتر در ساعت را خواهد داشت. در این بازه، قرار دادن مقدار تقریبی ۴۰ کیلومتر در ساعت دارای دقت مناسبی خواهد بود.

- تعداد تصاویر برداشتی در هر ثانیه توسط ابزار ضبط تصاویر ویدیویی مسیر

- فاصله زمانی بین دو برداشت متوالی گیرنده *GPS* که در واحد ثانیه معرفی می‌شود. این زمان تناوب بر اساس اهمیت راه، تراکم قوس‌ها و حداقل شعاع قوس‌های افقی مسیر قابل تغییر بوده و می‌توان دستگاه گیرنده *GPS* را قبل از شروع عملیات برداشت داده‌ها و بر اساس مقدار مورد نظر تنظیم نمود.

- سرعت عملکردی مسیر مورد نظر در واحد کیلومتر در ساعت که بر مبنای نظر کاربر برنامه و وضعیت طرح هندسی مسیر معرفی می‌شود.

۲-۲- فاز تحلیل مختصات جغرافیایی

روش پیشنهادی بر اساس تحلیل داده‌های مربوط به مختصات نقاط محور میانی مسیر، مشخصات هندسی قوس‌های افقی شامل شعاع و نقطه آغاز قوس تعیین و ضوابط ایمنی مربوط به محل و مقدار درج‌شده بر روی تابلوهای محدودیت سرعت را کنترل می‌کند. محاسبات مربوط به حل معادلات تعیین محل قوس افقی، شعاع، سرعت متناظر با شعاع

^۲ Shutter Speed

^۳ Motion Blurring

^۱ Global Positioning System

در رابطه (۱) مختصات X و Y هر یک از نقاط انتخابی برحسب متر (m) یکی از معادلات دستگاه سه معادله و سه مجهول مورد نظر را حاصل می‌کند و با حل دستگاه مذکور، مقادیر مجهول A و B و F به دست می‌آیند. در نهایت نیز به کمک حل ماتریسی دستگاه معادلات در نرم‌افزار متلب و پاسخ‌های به دست آمده برای مقادیر مجهول A و B و F ، مقدار شعاع قوس افقی براساس رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2 - 4F} \quad (2)$$

در رابطه (۲) مؤلفه‌های A و B و F مجهولات به دست آمده از دستگاه سه معادله و سه مجهول و R شعاع قوس افقی بر حسب متر (m) است.

روند مذکور برای تمامی نقاط شناسایی شده مربوط به یک قوس انجام گرفته و نوع قوس افقی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، در صورتی که نقاط شناسایی شده همگی مربوط به یک دایره واحد با شعاع ثابت باشند، این نتیجه حاصل می‌شود که قوس افقی از نوع قوس ساده دایره‌ای است. به همین صورت انواع دیگر قوس نیز از جمله قوس‌های افقی پیوند، کلوئید و غیره نیز شناسایی می‌شوند. سپس یک مرحله بهینه‌سازی برای مقادیر شعاع به دست آمده انجام شده و بهترین مقدار شعاع معرفی می‌شود و در مراحل بعدی نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

۲-۲-۳- تعیین سرعت متناظر با شعاع قوس

در این مرحله بر اساس نوع قوس افقی و مقدار شعاع به دست آمده در بخش (۲-۲-۲) و همچنین روابط آیین‌نامه طرح هندسی راه، سرعت متناظر با شعاع قوس افقی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، در صورتی که قوس افقی شناسایی شده یک قوس افقی ساده باشد، از رابطه (۳) استفاده خواهد شد.

$$V_R = \sqrt{127(e_{\max} + f_{\max})} \times R \quad (3)$$

که در آن، V_R سرعت متناسب با شعاع قوس بر حسب کیلومتر بر ساعت (km/h) و R شعاع قوس افقی بر حسب متر (m) و e_{\max} حداکثر شیب عرضی در قوس افقی و f_{\max} حداکثر ضریب اصطکاک جانبی مسیر است. مقادیر e_{\max} و f_{\max} در ابتدای برنامه توسط کاربر معرفی شده است. مقادیر ضریب اصطکاک جانبی و شیب عرضی یکسره (بربلندی) بر اساس نقشه‌های اجرایی راه قابل دسترسی است و نتایج این مرحله به صورت گرافیکی به کاربر ارائه می‌شود.

۲-۲-۴- معرفی فاصله ایمن قبل از قوس

در این مرحله، فاصله ایمن قبل از شروع قوس بر مبنای کنترل ضوابط ایمنی مربوطه به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت، به طور خودکار تعیین و به کاربر ارائه می‌شود. این فاصله باید به اندازه‌ای باشد تا امکان کاهش سرعت عملکردی در بخش مستقیم و رسیدن به سرعت تردد ایمن در قوس را برای راننده فراهم نماید. در نتیجه فاصله ایمن

و فاصله ایمن قبل از قوس به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت به کمک نرم‌افزار متلب انجام گرفته است. در نهایت می‌توان فاصله ایمن قبل از قوس را بر اساس سرعت متناسب با شعاع قوس و سرعت تردد در بخش مستقیم ورودی آن، به طور خودکار شناسایی و وضعیت ایمنی قوس را در ارتباط با تابلوی محدودیت سرعت کنترل نمود.

۲-۲-۱- شناسایی محل قوس

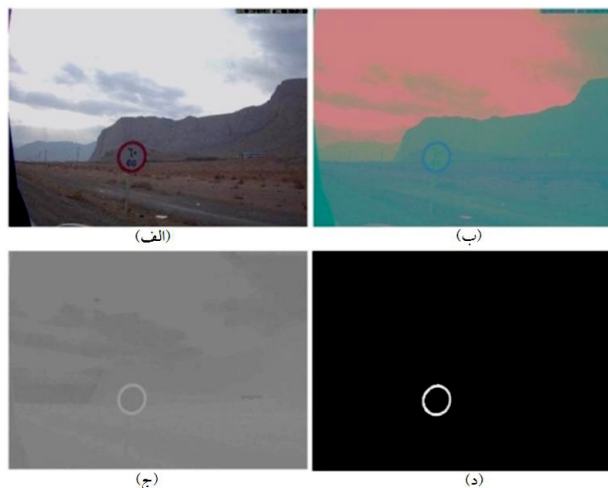
منظور از تشخیص محل قوس، شناسایی نقطه‌ای است که در آن مسیر از حالت مستقیم خارج شده و وارد یک قوس افقی می‌شود. برای این منظور، از مفهوم شیب استفاده شده است؛ به صورتی که در بخش مستقیم مسیر، شیب نمودار معادله خط منطبق بر نقاط مسیر، ثابت و بدون تغییر است. در هر مقطعی که شیب تغییر کند، این نتیجه حاصل می‌شود که معادله خط منطبق بر مسیر تغییر کرده و مسیر از حالت مستقیم خارج شده است. به بیان دیگر، یک بخش مستقیم از مسیر را می‌توان به صورت یک خط راست با یک شیب مشخص و ثابت (معادله درجه یک) در نظر گرفت. حال اگر نقطه‌ای شناسایی شود که از راستای این خط بیش از یک مقدار مشخص اختلاف داشته باشد، این نتیجه حاصل می‌گردد که از امتداد خط راست قبلی فاصله گرفته و دارای یک معادله با شیب متفاوتی از مقدار قبلی است. حال با توجه به این که یک مسیر فقط شامل بخش‌های مستقیم و بخش‌های منحنی (انواع قوس‌های افقی از جمله قوس‌های افقی ساده و کلوئیدها) است، هرگونه تغییر در راستای مستقیم مسیر باید به واسطه یک قوس افقی با شعاعی متناسب با دو مسیر مستقیم مجاور صورت گیرد. بر این اساس، اگر مسیر مستقیم (خطی با شیب ثابت) دچار تغییر در مقدار شیب شود، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که نقطه خارج از راستای مستقیم، متعلق به یک بخش منحنی از مسیر است.

اگر مجدداً چند نقطه متوالی شناسایی شود که دارای اختلاف شیب از راستای قبلی خود نباشند، مشخص می‌شود که از بخش منحنی مسیر خارج شده و نقاط، مربوط به بخش مستقیم مسیر هستند. بر این اساس، قوس‌های افقی مسیر از بخش‌های مستقیم جدا شده و در پلان مسیر نشان داده می‌شود. شایان ذکر است که مقادیر شیب مذکور هیچ ارتباطی با شیب طولی مسیر نداشته و منظور از شیب، تغییرات مختصات X و Y نقاط مربوط به پلان مسیر است.

۲-۲-۲- تعیین شعاع قوس افقی

در این مرحله و به منظور تعیین شعاع، دسته‌های سه‌تایی از نقاط تشکیل‌دهنده قوس شناسایی شده در بخش (۲-۲-۱)، مد نظر قرار گرفته و شعاع قوس براساس رابطه (۱) و حل دستگاه سه معادله و سه مجهول به دست آمده از مختصات x_i و y_i مربوط به سه نقطه بر روی محیط دایره تعیین می‌شود:

$$x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + F = 0 \quad (1)$$



شکل (۱): (الف) تابلوی محدودیت سرعت در فضای رنگ RGB که از یک تصویر فیلم جدا شده است؛ (ب) منتقل شده تصویر از فضای رنگ RGB به فضای رنگ $YCbCr$ ؛ (ج) مؤلفه سوم تصویر در فضای رنگ $YCbCr$ ؛ (د) نمایش باینری تصویر

بررسی می‌شود. به منظور جدا نمودن حاشیه قرمز تابلو، بعد از یک عملیات میانگین‌گیری محلی بر روی مؤلفه Cr و مقایسه تصویر حاصل با یک مقدار آستانه مناسب، یک تصویر باینری حاصل خواهد شد، مقادیر بالاتر از مقدار آستانه، حاشیه تابلو و مقادیر پایین‌تر از آن نیز پس‌زمینه یا درون تابلو فرض شده است.

۲-۳-۲- تشخیص تابلوهای محدودیت سرعت از سایر تابلوهای شناسایی‌شده دارای حاشیه قرمز

در این مرحله به منظور تشخیص تابلوهای محدودیت سرعت از سایر تابلوهای شناسایی‌شده دارای حاشیه قرمز، از تصویر باینری به دست آمده از بخش (۲-۳-۱) استفاده شده است. روند جداسازی تابلوهای محدودیت سرعت از سایر تابلوهای شناسایی‌شده دارای حاشیه قرمز در شکل (۲) نشان داده شده است.

برای این منظور، در ابتدا معیاری برای کنترل دایره بودن شیء به صورت رابطه (۴) معرفی می‌شود. با تعیین مقدار معیار مذکور برای هر شیء و مقایسه آن با یک مقدار آستانه معیار، تصاویر حاوی اشیای غیردایره حذف می‌شود. مقدار آستانه معیار برابر با $0/8$ در نظر گرفته شده است و مقادیر بالاتر از مقدار آستانه، دایره فرض می‌شود (مقدار این معیار برای دایره برابر یک است).

$$metric = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

که در آن، A مساحت و P محیط شکل هندسی است. سپس برای حذف تابلوهای غیرمحدودیت سرعت از بین سایر تابلوهای دارای شکل هندسی دایره، تعداد اشیای مستقل داخل دایره شمارش می‌شود. در صورتی که در داخل دایره به دست آمده تعداد چهار شیء مستقل به رنگ مشکی تشخیص داده شد، تصویر مورد نظر در بین تصاویر دارای تابلوی

قبل از قوس افقی بر اساس سرعت بخش مستقیم ورودی به قوس (سرعت عملکردی که در ابتدا توسط کاربر معرفی شد) و سرعت متناظر با شعاع قوس (به دست آمده در بخش (۲-۳-۱)) تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی، فاصله ایمن قبل از شروع قوس بر مبنای ضوابط آیین‌نامه ابزار کنترل ترافیک تعیین می‌شود [۳۳].

۲-۳-۳ فاز پردازش تصویر

با توجه به هدفی که این روش در راستای آن تعریف شده است، تابلوهای محدودیت سرعت در هفت گروه مجزا دسته‌بندی شده‌اند. این گروه‌ها شامل محدودیت سرعت‌های ۳۰ تا ۹۰ کیلومتر در ساعت است (سرعت متناظر با قوس‌های دارای شعاع کمتر از ۳۰۰ متر، کمتر از ۹۰ کیلومتر در ساعت است). دسته‌بندی مذکور بر اساس جداسازی و استخراج ویژگی‌های مناسب از اعداد موجود در تابلو به کمک ماشین بردار پشتیبان انجام گرفته است. استخراج ویژگی‌های مناسب از اعداد و استفاده از آن‌ها به عنوان ورودی ماشین بردار پشتیبان به جای خود عدد، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای آموزش را کاهش داده و منجر به کسب نتایج بهتر می‌شود [۳۴]. روش پیشنهادی هیچ محدودیتی را برای سایر انواع تابلوهای محدودیت سرعت با میزان سرعت بیش از ۹۰ کیلومتر در ساعت ایجاد نمی‌کند و برای مقادیر سه رقمی نیز قابل تعمیم است. در این مطالعه صرفاً به دلیل حادثه‌خیزتر بودن قوس‌های تیز با شعاع کمتر از ۳۰۰ متر، تمرکز اصلی بر این دسته از تابلوهای محدودیت سرعت است.

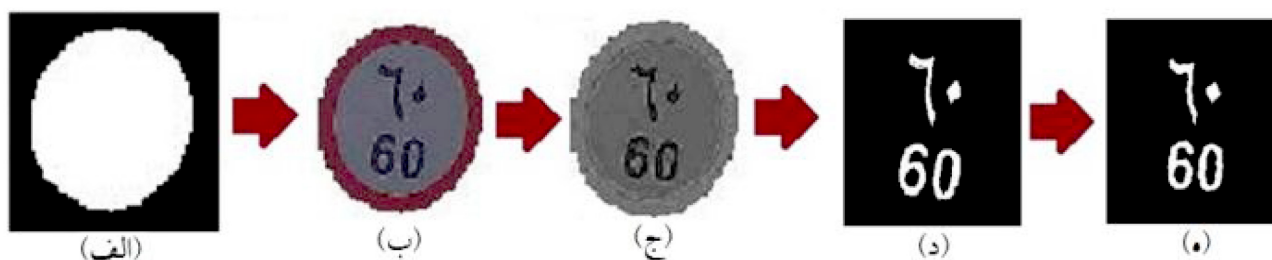
۲-۳-۱- شناسایی تصاویر حاوی تابلوهای راهنمایی و رانندگی

به منظور شناسایی تابلوهای محدودیت سرعت به کمک داده‌های تصویری برداشت‌شده توسط دوربین‌های MMS ، ابتدا باید تصاویر سازنده فیلم، پردازش شده و آن دسته از تصاویری که حاوی علائم راهنمایی و رانندگی هستند از سایر تصاویر جدا شوند. روند مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است.

به منظور جداسازی تصاویر مورد نظر، ابتدا کلیه تابلوهایی که دارای حاشیه قرمز (اعم از مثلث، دایره و غیره) باشند، شناسایی می‌شوند. بر اساس آنچه که در شکل (۱) نشان داده شده است و به منظور بررسی نخستین شرط وجود یا عدم وجود تابلو در یک تصویر، از حاشیه قرمز رنگ استفاده می‌شود. برای تشخیص رنگ قرمز، یک تصویر نمونه دارای تابلو به فضاهای مختلف رنگ مانند RGB و $YCbCr$ و HSL ^۱ منتقل و مؤلفه‌های سه‌گانه در هر تصویر بررسی شد. در نهایت نیز بر مبنای مشاهدات چشمی، مؤلفه سوم فضای رنگ $YCbCr$ به عنوان بهترین حالت انتخاب شد که برای تشخیص رنگ قرمز باید از مؤلفه سوم این فضا (Cr) استفاده شود. تصویر مورد نظر از فضای رنگ RGB به فضای $YCbCr$ منتقل و مقادیر پیکسل‌های مؤلفه سوم $YCbCr$

^۱ Red Green Blue

^۲ Hue, Saturation, Lightness



شکل (۲): الف) قسمتی از تصویر باینری شده حاوی تابلوی دایره‌ای؛ ب) پیکسل‌های جایگزین شده تصویر در فاز RGB در قسمت روشن تصویر «الف»؛ ج) مؤلفه اول (قرمز) تصویر «ب»؛ د) تصویر باینری به دست آمده از آستانه‌گذاری بر روی تصویر به اندازه مربعی به ضلع معادل قطر دایره؛ ه) چرخش تصویر «د» به منظور قرارگیری اعداد به صورت عمودی

تشخیص اعداد عبارتند از:

الف) تعداد و محل نقاط اوج در بردار حاصل از جمع

ستونی پیکسل‌ها: به منظور استخراج این ویژگی برای یک عدد، ابتدا مقدار پیکسل‌های روشن سطر i ام تصویر 20×10 با یکدیگر جمع و جایگزین درایه i ام یک بردار 1×20 می‌شود. این حاصل جمع به همین صورت برای کلیه سطرهای تصویر 20×10 محاسبه می‌شود. سپس بردار حاصله به منظور حذف فرکانس‌های بالا، از یک مرحله پالایش پایین‌گذر عبور داده می‌شود. حال تعداد نقاط اوج بردار به دست آمده شمارش و به عنوان یک ویژگی عدد مورد نظر ذخیره می‌گردد. در ادامه شماره سطر که نقاط اوج در آن حادث شده‌اند (محل نقاط اوج) با یکدیگر جمع و بر تعداد نقاط اوج تقسیم می‌شود و حاصل به عنوان ویژگی دیگری از عدد در نظر گرفته می‌شود. دو ویژگی مذکور برای هر دو عدد فارسی و لاتین محاسبه می‌شود (مجموعاً چهار ویژگی).

ب) تعداد و محل نقاط اوج در بردار حاصل از جمع

ستونی پیکسل‌ها: به منظور استخراج این ویژگی نیز مانند مورد قبلی عمل می‌شود؛ با این تفاوت که پیکسل‌های روشن ستون‌ها شمارش می‌گردد. ابتدا برای هر عدد مقدار پیکسل‌های روشن ستون i ام تصویر 20×10 با هم جمع و جایگزین درایه i ام یک بردار 1×10 می‌شود. بردار حاصله از یک مرحله پالایش پایین‌گذر عبور داده می‌شود. سپس تعداد و محل نقاط اوج مانند آنچه که در قسمت قبل توضیح داده شد، تعیین می‌گردد. این دو ویژگی نیز برای هر یک از دو عدد فارسی و لاتین تعریف شده است (مجموعاً چهار ویژگی).

ج) مشخصات هندسی اعداد: به عنوان ویژگی پنجم، مساحت

(تعداد پیکسل‌های روشن در تصویر 20×10) و به عنوان ویژگی ششم محیط عدد به دست آمده (تعداد پیکسل‌های دور قسمت روشن در تصویر 20×10) محاسبه و این دو ویژگی نیز برای هر یک از دو عدد فارسی و لاتین تعریف شده است (مجموعاً چهار ویژگی).

محدودیت سرعت دسته‌بندی می‌شود. شایان ذکر است که در مرحله آموزش ماشین بردار پشتیبان، تابلوهایی که محدودیت سرعت نیستند، ولی چهار شیء در آن‌ها شناسایی شده است (تابلو محدودیت ارتفاع)، در طبقه‌ای جدا قرار می‌گیرد.

همان‌گونه که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است، به منظور تعریف و استخراج ویژگی‌های اعداد شناسایی شده و با توجه به شیوه قرار گرفتن تابلوهای محدودیت سرعت در زوایای مختلف نسبت به سطح افق در هنگام برداشت تصاویر ویدیویی، باید بعد از مرحله شناسایی و قبل از مرحله جداسازی اعداد و استخراج ویژگی‌ها، یک مرحله دوران مناسب بر روی تصاویر تابلوها انجام شود که اعداد به صورت عمودی نسبت به سطح افق قرار گیرند. در این صورت، می‌توان ویژگی‌های تعریف شده برای اعداد را در کلیه تابلوها با زوایای مختلف در لحظه تصویربرداری و در شرایطی یکسان با یکدیگر مقایسه نمود.

۳-۳-۲- تشخیص سرعت نوشته شده بر روی تابلوی محدودیت سرعت

برای تشخیص سرعت نوشته شده بر روی تابلوی محدودیت سرعت، ابتدا دو عدد دهگان فارسی و لاتین نوشته شده در تابلو استخراج شده و هر یک به منظور یکسان‌سازی، در یک پنجره 20×10 پیکسل قرار داده می‌شوند. سپس به منظور تشخیص هر یک از اعداد استخراج شده، از شش ویژگی منحصر به فرد برای هر یک از آن‌ها و روش طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است.

همان‌گونه که ذکر شد، هدف اصلی در این مقاله کنترل ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی با شعاعی کمتر از ۳۰۰ متر بوده و سرعت متناسب با این قوس‌ها بین ۳۰ تا ۹۰ کیلومتر در ساعت است. در نتیجه هفت تابلوی محدودیت سرعت (۳۰ تا ۹۰ کیلومتر در ساعت) در نظر گرفته شده است. از هر یک از تابلوهای مذکور، تعداد ۳۰ تصویر نمونه (مجموعاً ۲۱۰ نمونه) انتخاب و به کمک این ۲۱۰ نمونه، ماشین بردار پشتیبان آموزش داده شده است. ویژگی‌های دوازده‌گانه (از هر عدد دهگان فارسی و لاتین، شش ویژگی) به منظور

۲-۴- کنترل محل و مقدار سرعت پیشنهادی نوشته‌شده بر روی تابلوهای محدودیت سرعت

در این مرحله، بر اساس نتایج ارائه‌شده از مراحل قبل (وضعیت طرح هندسی مسیر، پلان مسیر، نقطه آغاز قوس، شعاع قوس، سرعت متناسب با قوس و فاصله ایمن قبل از قوس به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت)، مشخص شده است که قوسی در قسمتی از مسیر شناسایی شده (تعیین شده در بخش (۲-۲-۱)) با شعاع R (تعیین شده در بخش (۲-۲-۲)) وجود دارد که در فاصله معینی (تعیین شده در بخش (۲-۲-۴)) قبل از شروع آن قوس بر مبنای کنترل خودکار ضوابط ایمنی به یک تابلوی محدودیت سرعت با مقدار مشخص V_R (تعیین شده در بخش (۲-۲-۳)) نیاز است.

با در نظر گرفتن نتایج نهایی به دست آمده از فاز تحلیل مختصات نقاط مسیر و پردازش تصاویر برداشتی و نیز مؤلفه‌های مربوط به مشخصات MMS ، شامل فاصله زمانی بین دو برداشت متوالی دستگاه گیرنده GPS ، تعداد تصاویر ضبط شده در هر ثانیه توسط دوربین‌های نصب شده بر خودروی MMS و سرعت ثابتی که خودروی MMS در حین برداشت داده‌ها انتخاب کرده است، می‌توان ارتباط مناسب بین نتایج به دست آمده از دو فاز برنامه را ایجاد نمود. شایان ذکر است که مشخصات و جزئیات MMS در ابتدای برنامه توسط کاربر برای برنامه تعریف شده است.

بر اساس توضیحات ارائه‌شده در بخش (۲-۲-۲) پیرامون فاز نخست، نقطه آغاز قوس افقی، شناسایی و شماره برداشت این نقطه به عنوان خروجی بخش (۲-۲-۱) مشخص شده است. به بیان دیگر، این‌طور تعیین شده است که نقطه شروع یک قوس افقی چندمین نقطه برداشتی توسط گیرنده GPS است. در ادامه با در نظر گرفتن مقدار فاصله زمانی بین دو برداشت متوالی گیرنده GPS ، لحظه رسیدن به نقطه آغاز هر قوس افقی در مسیر مورد بررسی تعیین می‌شود.

با در نظر گرفتن تعداد تصاویر برداشتی در هر ثانیه توسط دوربین‌های MMS ، تصویر معادل با لحظه آغاز قوس افقی تعیین می‌شود. به بیان دیگر، در این مرحله مشخص می‌شود که تصویر معادل با نقطه آغاز هر قوس افقی، چندمین قاب تصویر برداشتی است.

با توجه به توضیحات گفته‌شده در بخش (۲-۲-۴)، فاصله ایمن قبل از شروع قوس به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت مشخص شده است. با در نظر گرفتن مقدار ثابت سرعت تردد MMS ، فاصله زمانی نقطه‌ای که در فاصله ایمن قبل از شروع قوس قرار گرفته است، نسبت به نقطه شروع قوس نیز مشخص می‌شود. با توجه به تعداد تصاویر برداشتی در هر ثانیه، تعداد تصویر معادل با فاصله زمانی مذکور مشخص می‌گردد و در نهایت نیز تعداد تصویر معادل با فاصله زمانی بین نقطه ایمن قرارگیری تابلوی محدودیت سرعت و نقطه شروع قوس افقی از شماره قاب تصویر برداشتی منطبق بر نقطه آغاز قوس کاسته می‌شود و شماره قاب تصویر معادل با محل مناسب قرارگیری تابلوی محدودیت سرعت تعیین می‌گردد.

شایان ذکر است که به دلیل تعدیل خطاهای احتمالی در مراحل برداشت داده‌ها و عدم یکنواختی کافی در حین عملیات برداشت، ۲۵ تصویر قبل و بعد از شماره قاب تصویر تعیین شده به عنوان بازه صحیح و مناسب قرارگیری تابلوی محدودیت سرعت در نظر گرفته شده است. در شرایطی که سرعت تردد خودروی MMS ۴۰ کیلومتر در ساعت و تعداد تصویر برداشتی در هر ثانیه ۲۵ عدد باشد، فاصله معادل با تعداد ۲۵ تصویر قبل و بعد از تصویر معادل با محل دقیق قرارگیری تابلو، ۱۱ متر خواهد بود که این اختلاف فاصله نسبت به محل دقیق، قابل قبول به نظر می‌رسد.

در نهایت این نتیجه حاصل شده است که در یک بازه معین از شماره تصاویر برداشتی، باید تابلوی محدودیت سرعتی با مقدار درج شده مشخص بر روی آن وجود داشته باشد. بر این اساس، پردازش تصاویر برداشتی از مسیر در قالب فاز دوم برنامه آغاز می‌شود. به این ترتیب، ضوابط ایمنی مرتبط با تابلوی محدودیت سرعت قبل از قوس افقی شامل کنترل محل و مقدار محدودیت سرعت نوشته‌شده بر روی تابلو ارزیابی و یکی از نتایج زیر به کاربر برنامه ارائه می‌شود:

- قوس ایمن است: به این مفهوم که با توجه به سرعت متناظر با شعاع قوس و سرعت عملکردی بخش مستقیم، تابلوی محدودیت سرعت با مقدار صحیح در محل مناسبی نصب شده است.
- تابلو نیاز به اصلاح دارد: به این مفهوم که تابلو در محلی مناسب نصب شده است؛ ولی بر اساس سرعت متناظر با شعاع قوس پیش رو، مقدار محدودیت نوشته‌شده بر روی آن صحیح نیست.
- قوس ایمن نیست: به این مفهوم که تابلوی مناسبی به منظور هشدار به رانندگان برای کاهش سرعت و رسیدن به سرعت مجاز قوس در محل مناسب وجود ندارد.

۳- بحث و نتایج

بکارگیری MMS به عنوان یکی از روش‌های بازرسی ایمنی مسیر، داده‌های دقیق و جامعی از عوارض جانبی مسیر و وضعیت فیزیکی علائم و تابلوها را ارائه می‌دهد. در این مقاله با تمرکز بر روی پردازش داده‌های تصویری و تحلیل داده‌های جغرافیایی و برداشتی توسط این سامانه، روشی نوین برای کنترل خودکار ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی ارائه شد.

همان‌گونه که گفته شد، روش پیشنهادی در فاز نخست قادر است تا نقطه آغاز قوس افقی را شناسایی کرده و شعاع قوس افقی را بر اساس مختصات سه نقطه قوس محاسبه نموده و در نهایت فاصله ایمن قبل از قوس افقی به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت را تعیین کند.

در فاز دوم بر مبنای پردازش تصاویر برداشتی به کمک نرم‌افزار متلب، وضعیت تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی ارزیابی شده و گزارش مناسبی بر اساس مقایسه وضعیت موجود با مقادیر به دست آمده از فاز نخست ارائه می‌شود.

در این بخش توضیحات تکمیلی پیرامون جزئیات روش پیشنهادی

نقاط مشخص شده در حقیقت مشتق دوم نمودار پلان مسیر است که نتایج آن، مانند آن چه که در شکل (۳-ج) به عنوان نمونه نشان داده شده است، به کاربر ارائه می‌گردد.

در ادامه و بر اساس محاسبات انجام شده در مراحل قبل، نقاط مربوط به قوس‌ها با علامت قرمز بر روی پلان مسیر مشخص شده و به کاربر داده می‌شود. نمونه‌ای از نتایج این بخش در شکل (۴) نشان داده شده است.

داده‌های جغرافیایی مربوط به مختصات نقاط محور میانی ۳۱۸ کیلومتر از راه‌های دوخطه جدانشده برون‌شهری با هدف ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. این داده‌ها در هر دو جهت رفت و برگشت توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی درون خودروی *MMS* جمع‌آوری شده‌اند. سرعت تردد خودروی *MMS* ۴۰ کیلومتر در ساعت و زمان تناوب برداشت داده‌های مختصات نقاط مسیر توسط گیرنده *GPS* برابر با یک ثانیه انتخاب شده است. تعداد ۱۷۴ قوس افقی در مسیرهای مورد بررسی مشاهده شد. بر مبنای مطالعات انجام شده پیرامون میزان خطر قوس‌های افقی و بر اساس مقادیر مختلف شعاع [۱۵] می‌توان قوس‌های موجود در مسیرهای نمونه را به سه دسته تقسیم نمود: قوس‌های با شعاع کمتر از ۱۵۰ متر (بسیار خطرناک)، قوس‌های با شعاع بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر (خطرناک) و قوس‌های با شعاع بیش از ۳۰۰ متر (کم‌خطر). داده‌های *GPS* به دست آمده از مسیرهای نمونه با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله تحلیل شده است و نتایج مربوط به تعیین نقطه آغاز قوس افقی و شعاع آن با خروجی‌های به دست آمده حاصل از محاسبات نرم‌افزار طرح هندسی راه مقایسه و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

در جدول (۱) حداکثر اختلاف مجاز و قابل قبول بین شعاع

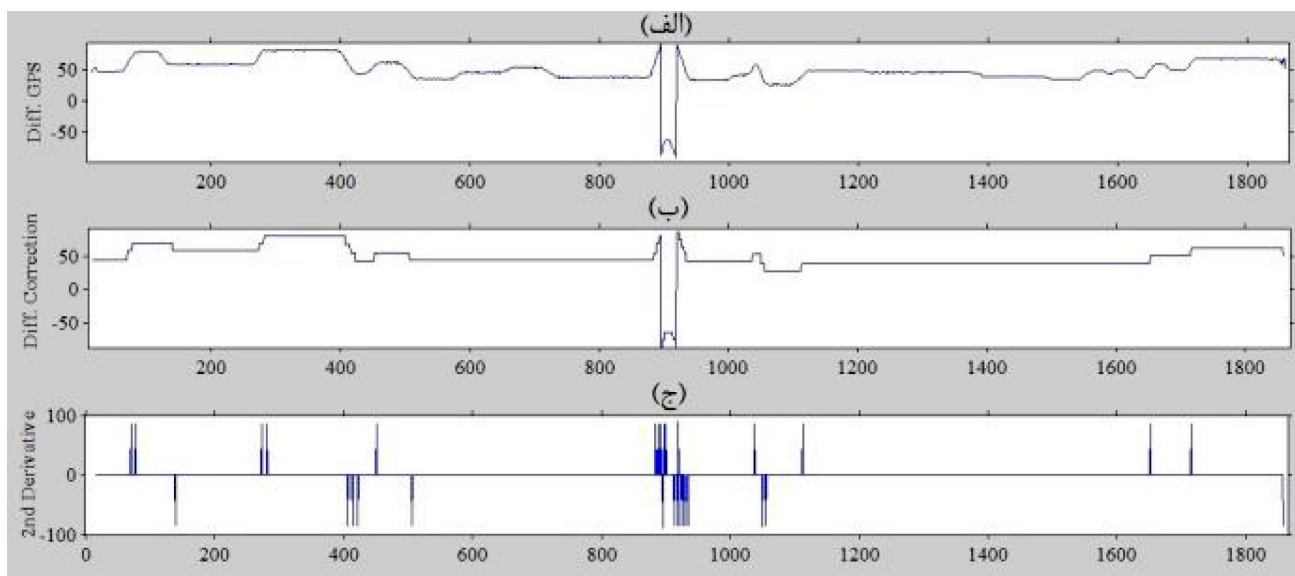
ارائه شده و نیز خروجی‌های به دست آمده حاصل از بکارگیری روش خودکار در تحلیل داده‌های جغرافیایی و تصاویر چند مسیر نمونه (جمع‌آوری شده توسط *MMS*) مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت چالش‌های پیش رو در زمینه کنترل خودکار ضوابط ایمنی بر اساس ماهیت داده‌های به دست آمده از *MMS* معرفی می‌شود و با توجه به نتایج حاصله از روش خودکار ارائه شده در این مقاله، پیشنهادهایی در راستای بهبود وضعیت ایمنی مسیر ذکر شده است.

همان‌گونه که در بخش (۲-۲-۱) توضیح داده شد، به منظور تعیین نقطه آغاز قوس افقی (نقطه‌ای که مسیر از راستای مستقیم خارج شده)، تغییرات شیب نمودار پلان مسیر مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور القای درک صحیح از وضعیت هندسی راه، نمودار پلان مسیر به کاربر ارائه می‌شود. پلان مسیر نشانگر وضعیت کلی طرح هندسی، فاصله قوس‌ها از یکدیگر و طول بخش‌های مستقیم مسیر است. سپس به منظور تعیین شیب، بر مبنای رابطه (۵)، باید از مختصات دو نقطه متوالی محور میانی مسیر استفاده شود.

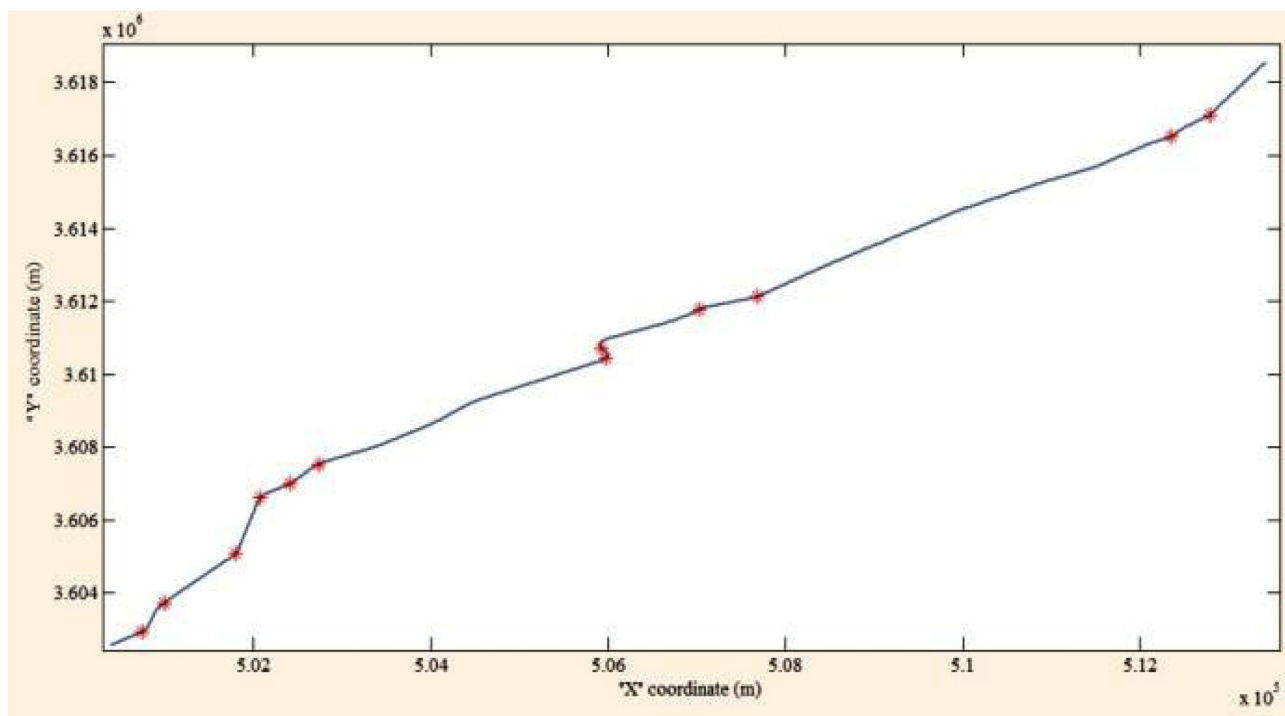
$$m = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad (5)$$

که در آن، x_i و y_i مختصات نقطه بعدی، x_{i-1} و y_{i-1} مختصات نقطه قبلی و m شیب خط واصل دو نقطه متوالی است. شیب نمودار پلان مسیر بر حسب درجه تعیین شده و به نزدیک‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر و یا مساوی رُند می‌شود. نمودار مقادیر شیب محاسبه شده، مانند آن چه که در شکل (۳-الف) به عنوان نمونه نشان داده شده است، به کاربر ارائه می‌شود.

در نهایت با توجه به نتایج حاصل از پالایش مقادیر شیب، بخش‌هایی که وضعیت هندسی مسیر در آن‌ها تغییر کرده است، شناسایی می‌شوند.



شکل (۳): (الف) نمودار مقادیر مشتق پلان مسیر؛ (ب) پالایش مقادیر مشتق؛ (ج) مشتق دوم پلان مسیر (محور افقی در هر سه نمودار معرف شماره برداشت نقطه توسط گیرنده *GPS* است)



شکل (۴): نمایش قوس‌های افقی مسیر روی پلان

است. بر این اساس، شناسایی این اختلاف در قوس‌هایی با شعاع کمتر از ۱۵۰ متر ساده‌تر و دقیق‌تر خواهد بود. علاوه بر این، دقت روش پیشنهادی در شناسایی شعاع قوس در قوس‌های افقی با شعاع بیشتر از ۱۵۰ متر کمی بالاتر است. دلیل این تفاوت مربوط به توانایی راننده در حفظ مسیر تردد بوده؛ به طوری که حفظ یکنواختی مسیر تردد خودروی *MMS* در قوس‌های افقی تند به دلیل کاهش فاصله دید دشوارتر است. هرچه میزان نوسان و تغییر در وضعیت نقاط برداشتی از یک محور ثابت کم‌تر باشد، دقت تعیین شعاع قوس افقی نیز بیشتر خواهد بود.

به منظور ارزیابی نهایی روش پیشنهادی، یک مجموعه داده مربوط به مختصات نقاط یک مسیر فرضی در نرم‌افزار *Autodesk Auto-CAD Civil 3D* ایجاد شده است. در این مجموعه داده فرضی، هیچ‌گونه نوسانی ناشی از برداشت داده‌های نقاط محور میانی مسیر وجود ندارد و شعاع قوس‌های افقی و نقطه آغاز قوس کاملاً واضح و دقیق توسط نرم‌افزار مذکور به دست آمده است. با معرفی این داده‌ها برای برنامه پیشنهادی، مشاهده شد که نقطه آغاز کلیه قوس‌های افقی به طور دقیق شناسایی و شعاع آن‌ها نیز به درستی محاسبه شده است.

قابلیت فاز نخست روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به سایر برنامه‌های تحلیل و طراحی هندسی راه، شناسایی خودکار قوس‌ها، تعیین شعاع، محاسبه سرعت ایمن متناسب با شعاع، کنترل خودکار ضوابط ایمنی قوس‌ها و نهایتاً ارائه فاصله ایمن قبل از شروع قوس به منظور نصب تابلوی محدودیت سرعت برای کاهش سرعت تردد و عبور ایمن از قوس افقی است. این فرایند خودکار بر اساس داده‌های به دست آمده توسط *MMS* از مختصات جغرافیایی نقاط مسیر، قادر است با حفظ دقت

جدول (۱): مقایسه نتایج استفاده از روش پیشنهادی با نتایج حاصل از تحلیل نقاط *GPS* توسط نرم‌افزار *Civil 3D*

وضعیت شعاع قوس افقی	شعاع کمتر از ۱۵۰ متر	شعاع بیشتر از ۱۵۰ متر و کمتر از ۳۰۰ متر	شعاع بیشتر از ۳۰۰ متر
تعداد قوس	۸۴	۶۲	۲۸
تعداد شعاع قوس صحیح	۷۶ (۹۰/۵ درصد)	۵۸ (۹۳/۵ درصد)	۱۶ (۵۷/۱ درصد)
تعداد نقطه آغاز قوس صحیح	۸۲ (۹۷/۶ درصد)	۵۴ (۸۷/۱ درصد)	۱۰ (۳۵/۷ درصد)

محاسبه‌شده توسط روش پیشنهادی و همچنین شعاع محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار *Civil 3D*، ۵ متر در نظر گرفته شده است. بر اساس مقایسه انجام شده در جدول (۱)، این نتیجه حاصل می‌شود که استفاده از روش پیشنهادی در مسیرهای مورد بررسی، به خصوص در قوس‌های تند (شعاع کمتر از ۱۵۰ متر) در هر دو زمینه تعیین شعاع و شناسایی نقطه آغاز قوس، دارای دقت قابل‌قبولی است. این میزان دقت برای قوس‌های افقی تند (شعاع کمتر از ۱۵۰ متر) در فاز تعیین دقیق مقدار شعاع و شناسایی صحیح نقطه آغاز قوس به ترتیب ۹۰ و ۹۷ درصد ارزیابی شده است.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۱)، میزان دقت روش پیشنهادی در تحلیل مختصات نقاط و شناسایی نقطه آغاز قوس افقی، در قوس‌های با شعاع کمتر از ۱۵۰ متر بیشتر از قوس‌های با شعاع بیش از ۱۵۰ متر است. دلیل این تفاوت در ماهیت هندسی قوس‌های تند است؛ به طوری که در این قوس‌ها اختلاف فاصله نقطه آغاز قوس با راستای مستقیم قبل از آن واضح‌تر از این اختلاف در قوس‌های با شعاع بیشتر از ۱۵۰ متر

نوشته شده بر روی تابلو، باید این را در نظر گرفت که مجموعه‌ای از حداقل‌ها، ایمنی مسیر را تضمین نخواهد کرد. به طور مثال، دیده شده است که رانندگان در برخی مواقع در هنگام عبور از قوس، مسیری را انتخاب می‌کنند که شعاعی کمتر از شعاع طراحی قوس دارد. تردد ایمن در قوسی با شعاع کمتر به معنای نیاز به ضریب اصطکاک جانبی و میزان بریلندی بیشتر از مقادیر موجود است. این کمبود می‌تواند سبب بروز حوادث در قوس افقی شود [۳۷]. به منظور تعدیل عواقب ناشی از رفتارهای غلطی از این قبیل، می‌توان مقدار محدودیت سرعت کمتری را نسبت به مقادیر به دست آمده بر اساس ضوابط ایمنی پیشنهاد نمود. وجود علائم و نشانه‌های ادراکی از جمله تابلوهای محدودیت سرعت به صورتی واضح و صحیح و در فاصله‌ای ایمن قبل از قوس، نقش چشمگیری را در کاهش شدت و تعداد تصادفات دارد [۱۹]. این در حالی است که بر مبنای بعضی مطالعات انجام شده پیرامون تابلوهای محدودیت سرعت، تأثیر علائم و هشدارها بر نظام ادراکی رانندگان از خطر قوس بسیار ناچیز ارزیابی شده و میزان این تأثیر بر بهبود ایمنی تردد در قوس‌های افقی در حدود ۶ درصد برآورد گردیده است. استفاده بی‌رویه از تابلوها و علائم هشدار در بخش‌های کم‌خطرتر مسیر، سبب کاهش اطمینان راننده به این علائم می‌شود و این عدم اطمینان باعث اختلال در عملکرد تابلوها در راستای بهبود ایمنی تردد خواهد شد [۳۸].

در مطالعات پیرامون بررسی تأثیر تابلوهای محدودیت سرعت بر سرعت تردد نیز این نتیجه حاصل شده است که تأثیر علائم هشداردهنده قبل از قوس در کاهش سرعت ورودی رانندگان به قوس بسیار اندک است [۳۹]. بر این اساس، علاوه بر علائم محدودیت سرعت، عوامل ادراکی و افزاینده تمرکز نیز مورد نیاز خواهد بود [۴۰]. از جمله این عوامل ادراکی می‌توان به علائم روسازی شامل خطوط عرضی با فواصل کاهشی قبل از شروع قوس [۴۱]، نوارهای ایجادکننده لرزه و صدا در لبه کناری یا میانی راه [۴۲]، فلش‌های جهت‌دار و عبارت «آهسته» قبل از ورود به قوس [۱۳]، گاردریل‌ها [۵] و استفاده ترکیبی از شورون‌ها و تابلوهای محدودیت سرعت [۴۳] اشاره نمود.

کافی در زمینه کنترل ضوابط ایمنی، در مقایسه با سایر روش‌های میدانی بازرسی ایمنی مسیر، در وقت و هزینه نیز صرفه‌جویی نماید. با توجه به نتایج به دست آمده در فاز پردازش تصویر، میزان دقت در بخش شناسایی (وجود یا عدم وجود تابلو) ۹۲ درصد و در بخش تشخیص (تعیین مقدار محدودیت نوشته شده بر روی تابلو)، ۹۷ درصد برآورد شده است. در جدول (۲) نتایج حاصل از پردازش تصاویر ویدیویی *MMS* به منظور شناسایی و تشخیص تابلوهای محدودیت سرعت ارائه شده است. دلیل تفاوت در میزان دقت دو فاز با یکدیگر، تأثیر چشمگیرتر عواملی همچون زاویه برداشت تصویر، شرایط جوی و وضعیت فیزیکی تابلو بر تصاویر مورد بررسی در فاز شناسایی نسبت به فاز تشخیص است.

۳-۱- چالش‌ها و توصیه‌های تکمیلی

ورودی اصلی مورد نیاز برای روش ارائه شده در این مقاله، داده‌های جغرافیایی نقاط محور مسیر است. یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت این داده‌ها، دقت گیرنده *GPS* بوده و همواره مجموعه‌ای از خطاهای اجتناب‌ناپذیر (ناشی از کاهش تعداد ماهواره‌های در دسترس و اختلال در امواج ارسالی) در برداشت داده‌های جغرافیایی توسط *GPS* وجود دارد. بر اساس مطالعات انجام شده، مجموع این خطاها از ۱۰ متر تجاوز نخواهد کرد [۲]. به منظور تعدیل این خطاها، سامانه‌های تفاضلی *DGPS* پیشنهاد می‌شود [۳۵]. علاوه بر مشخصات دستگاه گیرنده *GPS*، مهارت راننده خودروی *MMS* در حفظ یکنواختی مسیر تردد نیز بر کیفیت داده‌های مختصات مسیر تأثیرگذار است. در مواردی که خط‌کشی‌های راه به وضوح قابل مشاهده نباشند، تطبیق مسیر حرکت بر مبنای آن‌ها و حفظ یکنواختی مسیر تردد دشوارتر خواهد شد.

بر اساس آیین‌نامه ابزار کنترل ترافیک، نصب علائم هشدار و تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی، در حالتی که اختلاف بین سرعت عملکردی و مقدار محدودیت سرعت متناسب با شرایط پیش رو بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت (یا بیشتر) باشد، اجباری خواهد بود [۳۶]. در تصمیم‌گیری نهایی برای معرفی مقدار محدودیت سرعت

جدول (۱): مقایسه نتایج استفاده از روش پیشنهادی با نتایج حاصل از تحلیل نقاط *GPS* توسط نرم‌افزار *Civil 3D*

مدت زمان فیلم (دقیقه)	تعداد کل تابلوهای محدودیت سرعت (۳۰ تا ۹۰ کیلومتر در ساعت)	تعداد تابلوهای شناسایی شده	تعداد تابلوهای تشخیص داده شده	درصد تابلوهای صحیح تشخیص داده شده	
				نسبت به تابلوهای شناسایی شده	نسبت به کل تابلوها
۲۴	۷	۷	۷	۱۰۰	۱۰۰
۱۸	۱۲	۱۱	۱۱	۹۱/۷	۹۱/۷
۳۳	۱۶	۱۴	۱۳	۸۷/۵	۹۲/۹
۱۲	۹	۸	۸	۸۸/۹	۱۰۰
۲۷	۱۴	۱۳	۱۲	۹۲/۹	۹۲/۳
				۹۲/۲	۹۷

۴- نتیجه‌گیری

ممنوع را به طور خودکار بررسی نمود و حتی در مواردی که تصاویر ویدیویی برداشتی دارای کیفیتی مناسب باشد، می‌توان وضعیت خط‌کشی ممتد قبل از قوس عمودی را به طور خودکار کنترل نمود.

روش خودکار پیشنهادی در این مقاله، قابلیت استفاده در سایر وسایل نقلیه شخصی و عمومی را به عنوان سامانه درون‌خودرویی عامل نیز دارد؛ به صورتی که با نصب سامانه‌ای بر پایه روش پیشنهادی در خودروها و پردازش تصاویر مسیر و شناسایی مقدار محدودیت سرعت درج‌شده بر روی تابلو در قالب یک سامانه درون‌خودرویی تمام عامل، می‌توان سرعت خودرو را به طور خودکار کاهش داد. در مواردی که تابلوی محدودیت سرعت در فاصله‌ای مناسب قبل از قوس وجود نداشته باشد نیز این امکان وجود دارد تا بر مبنای تحلیل نقاط مسیر بر پایه نقشه‌های دیجیتال، تعیین شعاع قوس افقی پیش رو و سرعت متناظر با قوس، سرعت خودرو را با هدف رسیدن به مقدار سرعت ایمن کاهش داد.

۶- تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از زحمات جناب آقای مهندس حیدری مدیر داخلی شرکت امگا شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان در زمینه تأمین تجهیزات مورد نیاز به منظور برداشت داده‌ها، با سپاس از جناب آقای مهندس دادخواه رئیس واحد ایمنی اداره راه و شهرسازی استان اصفهان که بستری مناسب را در زمینه مطالعات پیرامون تابلوهای راهنمایی و رانندگی ایجاد نمودند و همچنین با سپاس فراوان از زحمات بی‌دریغ جناب آقای مهندس گلچین که در زمینه برداشت داده‌های مورد نیاز در راستای تدوین روش خودکار ارائه‌شده در این مقاله متحمل شدند.

۷- مراجع

- [1] Wang, C.; Quddus, M. A. and Ison, S. G.; "The Effect of Traffic and Road Characteristics on Road Safety: A Review and Future Research Direction," *Safety Science*, Vol. 57, pp. 264-275, 2013.
- [2] Di Mascio, P.; Di Vito, M.; Loprencipe, G. and Ragnoli, A.; "Procedure to Determine the Geometry of Road Alignment using GPS Data," *Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53, pp. 1203-1216, 2012.
- [3] McDonald, N.; "Look and Learn: Capitalizing on Individual Responsibility in Speed Management," In Proceedings of the *Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference*, pp. 73-83, 2004.
- [4] Fréchède, B.; McIntosh, A. S.; Grzebieta, R. and Bambach, M. R.; "Characteristics of Single Vehicle Rollover Fatalities in Three Australian States (2000-2007)," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, No. 3, pp. 804-812, 2011.
- [5] Ben-Bassat, T. and Shinar, D.; "Effect of Shoulder

قوس‌های افقی مسیر به دلیل تحمیل نیروی گریز از مرکز به خودرو و ایجاد اختلال در توانایی راننده، وظایف بیشتری را در پیش‌بینی وضعیت مسیر پیش رو به راننده محول می‌کنند و نسبت به سایر بخش‌های مستقیم مسیر خطرناک‌تر هستند. بر این اساس، بررسی وضعیت ایمنی قوس‌های افقی همواره یکی از حوزه‌های اصلی فعالیت متخصصان و مهندسان راه با هدف بهبود وضعیت ایمنی شبکه راه‌ها بوده است.

بر اساس نتایج به دست آمده حاصل از بکارگیری روش خودکار در کنترل ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی، در فاز نخست بر مبنای تحلیل داده‌های مربوط به مختصات نقاط محور میانی مسیر (جمع‌آوری شده توسط گیرنده *GPS* درون خودروی *MMS*)، در تعیین مقدار شعاع قوس و شناسایی صحیح نقطه آغاز قوس‌های افقی با شعاع کم‌تر از ۱۵۰ متر، به ترتیب دقت ۹۰ و ۹۷ درصد اثبات شده است و در فاز دوم نیز بر اساس پردازش تصاویر ویدیویی مسیر (ضبط‌شده توسط دوربین‌های نصب‌شده بر روی خودروی *MMS*)، میزان دقت در بخش شناسایی (وجود یا عدم وجود تابلو) ۹۲ درصد و در بخش تشخیص (تعیین مقدار محدودیت درج‌شده بر روی تابلو)، ۹۷ درصد برآورد شده است. در نهایت با توجه به مقایسه وضعیت موجود با مقادیر مطلوب به دست آمده در فاز نخست، ضوابط ایمنی مربوط به تابلوهای محدودیت سرعت به طور خودکار کنترل و گزارشی مناسب پیرامون وضعیت ایمنی تابلوها به کاربر برنامه ارائه می‌شود. نتایج خروجی روش پیشنهادی در قالب نقشه‌ها و مقادیر قابل درک می‌تواند در زمینه شناسایی نقاط حادثه‌خیز توسط مهندسان و طراحان راه مفید واقع شود. سامانه هوشمند معرفی‌شده قادر است تا ضوابط ایمنی مربوط به محل تابلوهای محدودیت سرعت و مقدار سرعت پیشنهادی درج‌شده بر روی آن‌ها را به طور خودکار کنترل کند و در مقایسه با سایر روش‌های میدانی بازرسی ایمنی مسیر، در وقت و هزینه نیز صرفه‌جویی نماید. البته هدف نهایی صرفاً محدود به آشکارسازی نواقص ایمنی موجود نمی‌شود؛ بلکه باید برای یافتن فرصت‌های بهبود ایمنی نقاط حادثه‌خیز نیز تلاش‌های لازم انجام گیرد.

۵- پیشنهادها برای مطالعات آینده

بر اساس توضیحات ارائه‌شده، داده‌های به دست آمده از *MMS* از تنوع بسیاری برخوردار هستند. علاوه بر کنترل خودکار ضوابط ایمنی تابلوهای محدودیت سرعت قبل از قوس‌های افقی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان ضوابط دیگری را نیز مد نظر قرار داد. از جمله این موارد که می‌تواند در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد، وضعیت تابلوهای سبقت ممنوع قبل از قوس‌های عمودی است؛ به گونه‌ای که با تحلیل مؤلفه ارتفاعی نقاط برداشتی از محور میانی مسیر، مشخصات قوس عمودی و نقطه شروع قوس تعیین می‌شود و بر اساس پردازش تصاویر برداشتی از مسیر می‌توان محل و وضعیت فیزیکی تابلوی سبقت

- Sustainability of Road Infrastructures*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 53, pp. 921–932, 2012.
- [16] Figueroa-Medina, A. M. and Tarko, A. P.; “Reconciling Speed Limits with Design Speeds,” *Report FHWA/IN/JTRP-2004/26*, Purdue University-Joint Transportation Research Program, Project No. C-36-10G File, 2004.
- [17] Martens, M. H.; Comte, S. and Kaptein, N.; “The Effects of Road Design on Speed Behaviour: A Literature Review,” *TNO Human Factors Research Institute*, Deliverable D1 (Report 2.3.1), MASTER, 1997.
- [18] Kanellaidis, G.; “Factors Affecting Drivers' Choice of Speed on Roadway Curves,” *Journal of Safety Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 49–56, 1995.
- [19] Samuel G. Charlton; “The Role of Attention in Horizontal Curves: A Comparison of Advance Warning, Delineation, and Road Marking Treatments,” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, No. 5, pp. 873–885, 2007.
- [20] Hashim, I. H.; “Analysis of Speed Characteristics for Rural Two-Lane Roads: A Field Study from Minoufiya Governorate, Egypt,” *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 43–52, 2011.
- [21] Ishikawa, K.; Amano, Y.; Hashizume, T. and Takiguchi, J.; “A Study of Precise Road Feature Localization using Mobile Mapping System,” *ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, IEEE, pp. 1–6, 2007.
- [22] Tao, C. V.; “Mobile Mapping Technology for Road Network Data Acquisition,” *Journal of Geomatics Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 1–13, 2009.
- [23] France, J. and Glennie, C.; “A Step-by-Step Description of a Mobile Mapping Project Reveals the Tricks of the Trade,” *Earth Imaging Journal*, pp. 28–30, 2011.
- [24] Madeira, S.; Goncalves, J. and Bastos, L.; “Photogrammetric Mapping and Measuring Application using MATLAB,” *Computers and Geosciences*, Vol. 36, Issue 6, pp. 699–706, 2010.
- [25] Castro, M.; Iglesias, L.; Rodriguez-Solano, R. and Sanchez, J. A.; “Geometric Modeling of Highways using Global Positioning System (GPS) Data and Spline Approximation,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 14, No. 4, pp. 233–243, 2006.
- [26] Findley, D. J.; Hummer, J. E.; Rasdorf, W.; Zegeer, C. Width, Guardrail and Roadway Geometry on Driver Perception and Behavior,” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, No. 6, pp. 2142–2152, 2011.
- [6] Buddhavarapu, P.; Banerjee, A. and Prozzi, J. A.; “Influence of Pavement Condition on Horizontal Curve Safety,” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 52, pp. 9–18, 2013.
- [7] Choueiri, E. M.; Lamm, R.; Kloeckner, J. H. and Mailaender, T.; “Safety Aspects of Individual Design Elements and their Interactions on Two-Lane Highways: International Perspective,” In *TRR: Journal of the TRB*, No. 1445, TRB of the National Academies, Washington, D. C., pp. 34–46, 1994.
- [8] Esposito, T.; Mauro, R.; Russo, F. and Dell'Acqua, G.; “Operating Speed Prediction Models for Sustainable Road Safety Management,” *ICSDC*, pp. 712–721, 2011.
- [9] Haynes, R.; Jones, A.; Kennedy, V.; Harvey, I. and Jewell, T.; “District Variations in Road Curvature in England and Wales and their Association with Road-Traffic Crashes,” *Environment and Planning A*, Vol. 39, No. 5, pp. 1222–1237, 2007.
- [10] McDonald, L. B. and Ellis, N. C.; “Driver Workload for Various Turn Radii and Speeds,” In *Transportation Research Record*, *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D. C., No. 530, pp. 8–30, 1975.
- [11] Johnston, I. R.; “Modifying Driver Behavior on Rural Road Curves: A Review of Recent Research,” In *Proceedings of the 11th Australian Road Research Board Conference*, Vol. 11, No. 4, pp. 115–124, 1982.
- [12] Knowles, D. and Tay, R. S.; “Driver Inattention: More Risky than the Fatal Four?,” In *Proceedings of the Road Safety, Policing and Education Conference*, Austroads, Adelaide, Australia, Vol. 2, pp. 107–111, 2002.
- [13] Retting, R. A. and Farmer, C. M.; “Use of Pavement Markings to Reduce Excessive Traffic Speeds on Hazardous Curves,” *ITE Journal*, Vol. 68, No. 9, pp. 30–36, 1998.
- [14] Reymond, G.; Kemeny, A.; Droulez, J. and Berthoz, A.; “Role of Lateral Acceleration in Curve Driving: Driver Model and Experiments on a Real Vehicle and a Driving Simulator,” *Human Factors*, Vol. 43, No. 3, pp. 483–495, 2001.
- [15] Grossi, R.; Carpinone, V. and Tocchetti, A.; “Functional Characteristics and Safety of Two-Lane Rural Roads,” *5th International Congress*

- Accident Models for Two-Lane Rural Highways using Exposure, Geometry, Consistency and Context Variables," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, No. 4, pp. 1072–1079, 2010.
- [36] FHWA; "Manual on Uniform Traffic Control Devices," *Federal Highway Administration*, United States Department of Transportation, Washington D. C., Table 2C–5. Horizontal Alignment Sign Selection, 2009.
- [37] Glennon, J. C.; Neuman, T. R. and Leisch, J. E.; "Safety and Operational Considerations for Design of Rural Highway Curves," *Federal Highway Administration*, Technical Report, FHWA–RD–86–035, 1985.
- [38] Jorgensen, F. and Wentzel-Larsen, T.; "Optimal Use of Warning Signs in Traffic," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, No. 6, pp. 729–738, 1999.
- [39] Shinar, D.; Rockwell, T. H. and Malecki, J. A.; "The Effects of Changes in Driver Perception on Rural Curve Negotiation," *Ergonomics*, Vol. 23, No. 3, pp. 263–275, 1980.
- [40] Recarte, M. A. and Nunes, L. M.; "Perception of Speed in an Automobile: Estimation and Perception," *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 2, No. 4, pp. 291–304, 1996.
- [41] Agent, K. R.; "Transverse Pavement Markings for Speed Control and Accident Reduction," *Transportation Research Record*, No. 773, pp. 11–14, 1980.
- [42] Rasanen, M.; "Effects of a Rumble Strip Barrier Line on Lane Keeping in a Curve," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, No. 3, pp. 575–581, 2005.
- [43] Koorey, G.; Page, S.; Stewart, P.; Gu, J.; Ellis, A.; Henderson, R. and Cenek, P.; "Curve Advisory Speeds in New Zealand," *IPENZ Transportation Group Technical Conference 2002*, Rotorua, New Zealand, 25 Sep. 2002, Report No. 226, p. 112, 2002.
- V. and Fowler, T. J.; "Modeling the Impact of Spatial Relationships on Horizontal Curve Safety," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 45, pp. 296–304, 2012.
- [27] Eichner, M. L. and Breckon, T. P.; "Integrated Speed Limit Detection and Recognition from Real-Time Video," *Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, Conference Publications, pp. 626–631, 2008.
- [28] Chen, L.; Li, Q.; Li, M. and Mao, Q.; "Traffic Sign Detection and Recognition for Intelligent Vehicle," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium IV*, 2011.
- [29] Moutarde, F.; Bargeton, A.; Herbin, A. and Chanussot, L.; "Modular Traffic Signs Recognition Applied to On-Vehicle Real-Time Visual Detection of American and European Speed limit Signs," *Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, pp. 1122–1126, 2007.
- [30] Maldonado-Basco, S. and Gomez-Moreno, H.; "Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines," *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, pp. 264–278, 2007.
- [31] Damavandi, Y. B. and Mohammadi, K.; "Speed Limit Traffic Sign Detection and Recognition," *Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, IEEE, Vol. 2, pp. 797–802, 2004.
- [32] Heydari, M.; Amirfattahi, R.; Nazari, B. and Bastani, A.; "Iron Ore Green Pellet Diameter Measurement by using of Image Processing Techniques," *ICEE*, 2013.
- [33] FHWA; "Manual on Uniform Traffic Control Devices," *Federal Highway Administration*, United States Department of Transportation, Washington D. C., Table 2C–4, Guidelines for Advance Placement of Warning Signs, 2003.
- [34] Christopher, J. and Burges, C.; "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition," *Data Mining and Knowledge Discovery*, pp. 121–167, 1998.
- [35] Cafiso, S.; Di Graziano, A.; Di Silvestro, G.; La Cava, G. and Persaud, B.; "Development of Comprehensive