

ارائه مدل ریاضی مکانیابی سیستم‌های هوشمند حمل و نقل جاده‌ای

(مطالعه موردی: سامانه دوربین‌های ثابت ثبت تخلف سرعت)

مقاله عملی - پژوهشی

علی سرکانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، اصفهان، ایران

*علی عبدی کردانی (نویسنده مسئول)، استاد، گروه مهندسی عمران- برنامه ریزی حمل و نقل،

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

محمد سعیدی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- برنامه ریزی حمل و نقل،

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

صفحه ۱۴۴-۱۳۱

چکیده

مکان‌یابی مناسب دوربین‌های ثابت ثبت تخلف سرعت از جمله اقدامات مؤثر در مدیریت سرعت، ارتقای ایمنی راه‌ها و کاهش تصادفات جاده‌ای به شمار می‌رود. هدف این پژوهش ارائه مدلی برای مکان‌یابی بهینه دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در راه‌های برون‌شهری است تا فرآیند انتخاب محل نصب این تجهیزات از حالت تجربی و مبتنی بر قضاوت‌های فردی خارج شده و بر پایه معیارهای علمی و تحلیلی انجام گیرد. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش در زمره مطالعات توصیفی-پیمایشی قرار می‌گیرد. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسش‌نامه و با بهره‌گیری از دیدگاه خبرگان حوزه ایمنی راه، حمل‌ونقل جاده‌ای، مراکز مدیریت راه‌ها و پلیس راه گردآوری شده است. به‌منظور شناسایی، پالایش و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی دوربین‌ها از روش دلفی استفاده شد و در نهایت معیارهای نهایی در چهار دسته اصلی شامل عوامل ایمنی، عوامل ترافیکی، ویژگی‌های هندسی و فیزیکی راه و زیرساخت‌های فنی موجود طبقه‌بندی گردید. در ادامه با بهره‌گیری از مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها، چارچوبی برای ارزیابی و انتخاب نقاط مناسب جهت نصب دوربین‌ها ارائه شد و نقاط بهینه نصب دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در شبکه راه‌های برون‌شهری شناسایی گردید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری رویکردی مبتنی بر مدل تحلیلی همراه با استفاده از نظر خبرگان می‌تواند دقت و کارایی تصمیم‌گیری در مکان‌یابی تجهیزات نظارتی را افزایش دهد. همچنین استفاده از مدل پیشنهادی امکان تمرکز بر نقاط پرخطر، بهبود مدیریت سرعت، ارتقای سطح ایمنی تردد و بهره‌برداری بهینه از منابع و سرمایه‌گذاری‌های حوزه حمل‌ونقل جاده‌ای را فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل جاده‌ای، مکان‌یابی، دوربین ثابت ثبت تخلف سرعت، روش دلفی

۱- مقدمه

افزایش تقاضای حمل‌ونقل جاده‌ای و رشد تعداد وسایل نقلیه در دهه‌های اخیر، ایمنی ترافیک را به یکی از چالش‌های اساسی سامانه‌های حمل‌ونقل تبدیل کرده است. بخش قابل‌توجهی از تلفات و خسارات ناشی از تصادفات جاده‌ای به رفتارهای پرخطر رانندگان، به‌ویژه تخطی از سرعت مجاز، مربوط می‌شود. در این میان، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای پایش و

مدیریت رفتار ترافیکی به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش تصادفات مورد توجه قرار گرفته است.

سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) با استفاده از فناوری‌هایی نظیر تجهیزات الکترونیکی، سامانه‌های پایش ترافیک، ارتباطات پیشرفته و پردازش داده‌های مکانی، امکان جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات ترافیکی را فراهم می‌کنند و از این طریق به بهبود مدیریت شبکه حمل‌ونقل و ارتقای ایمنی کاربران جاده‌ای کمک می‌نمایند. در این چارچوب، تجهیزاتی مانند ترددشمارها، سامانه‌های نظارت تصویری، تابلوهای پیام متغیر، سامانه‌های تشخیص خودکار پلاک و دوربین‌های کنترل سرعت از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت و کنترل رفتار ترافیکی به شمار می‌روند.

در میان این تجهیزات، سامانه‌های ثبت تخلف سرعت به عنوان یکی از مؤثرترین ابزارهای کنترلی برای کاهش سرعت غیرمجاز و افزایش ایمنی جاده‌ها شناخته می‌شوند. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد استقرار مناسب این سامانه‌ها می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه تصادفات و تخلفات سرعت شود. با این حال، میزان اثربخشی این سامانه‌ها تا حد زیادی به انتخاب صحیح محل استقرار آن‌ها در شبکه راه‌ها وابسته است؛ به گونه‌ای که استقرار غیربینه می‌تواند کارایی سامانه‌ها را کاهش داده و موجب اتلاف منابع شود.

در این راستا، مکان‌یابی تجهیزات کنترلی به‌ویژه دوربین‌های ثابت ثبت تخلف سرعت، یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند محسوب می‌شود. مسائل مکان‌یابی با هدف تعیین بهترین محل استقرار تسهیلات یا تجهیزات در شبکه، معمولاً با استفاده از مدل‌های ریاضی و روش‌های بهینه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند و اهدافی مانند افزایش پوشش شبکه، بهبود ایمنی و استفاده بهینه از منابع را دنبال می‌کنند.

با وجود اهمیت این موضوع، در بسیاری از موارد انتخاب محل نصب دوربین‌های کنترل سرعت همچنان بر پایه تجربه کارشناسی یا دستورالعمل‌های کلی انجام می‌شود. چنین رویکردی می‌تواند به استقرار غیربینه تجهیزات و کاهش کارایی آن‌ها منجر شود؛ در حالی که هزینه‌های نسبتاً بالای نصب و نگهداری این سامانه‌ها، ضرورت بهره‌گیری از روش‌های علمی و مدل‌های تحلیلی برای مکان‌یابی آن‌ها را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه یک مدل ریاضی برای مکان‌یابی سامانه‌های ثابت ثبت تخلف سرعت در شبکه راه‌های برون‌شهری است. در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از شاخص‌های مرتبط با ایمنی، ویژگی‌های هندسی راه، شرایط ترافیکی و داده‌های تصادفات و سرعت وسایل نقلیه، چارچوبی تحلیلی برای تعیین محل بهینه استقرار دوربین‌های کنترل سرعت ارائه شود. نتایج این پژوهش می‌تواند با کاهش وابستگی فرآیند مکان‌یابی به قضاوت‌های فردی، دقت تصمیم‌گیری در انتخاب محل نصب سامانه‌ها را افزایش داده و در نهایت به ارتقای ایمنی شبکه راه‌ها و بهبود بهره‌وری سرمایه‌گذاری در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند کمک کند.

۲-پیشینه تحقیق

با گسترش فناوری اطلاعات و افزایش توان پردازش داده‌ها، استفاده از سامانه‌های رایانه‌ای در مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های حمل‌ونقل به طور چشمگیری افزایش یافته است. این روند زمینه شکل‌گیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) را فراهم کرده است. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های ارتباطی، الکترونیکی و پردازش داده، امکان پایش و مدیریت مؤثر جریان ترافیک را فراهم کرده و نقش مهمی در ارتقای ایمنی، افزایش کارایی شبکه‌های حمل‌ونقل و بهبود کیفیت خدمات ایفا می‌کنند. یکی از کارکردهای مهم این سامانه‌ها، کنترل رفتار ترافیکی رانندگان و کاهش تخلفات رانندگی در شبکه‌های جاده‌ای است.

در میان مسائل مهم حوزه حمل‌ونقل جاده‌ای، تصادفات رانندگی و پیامدهای جانی و مالی ناشی از آن از چالش‌های اساسی محسوب می‌شود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از این تصادفات ناشی از سرعت غیرمجاز وسایل نقلیه است؛ از این‌رو کنترل سرعت به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش سوانح رانندگی مطرح شده است. در این راستا، سامانه‌های ثبت تخلف سرعت به عنوان یکی از ابزارهای مهم سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند برای پایش رفتار رانندگان مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملکرد این سامانه‌ها بر پایه اندازه‌گیری سرعت وسایل نقلیه و اعمال جریمه برای رانندگان متخلف است که در نهایت می‌تواند به اصلاح رفتار رانندگی و افزایش ایمنی شبکه راه‌ها منجر شود.

استفاده قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده قابلیت بالای این روش‌ها در حل مسائل مکانی پیچیده است.

با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینه مکان‌یابی زیرساخت‌ها و تجهیزات مختلف، بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که ارائه مدل‌های ریاضی جامع برای مکان‌یابی بهینه سامانه‌های ثبت تخلف سرعت در شبکه راه‌های کشور، به‌ویژه با در نظر گرفتن همزمان شاخص‌های ایمنی، ترافیکی و پوشش شبکه، همچنان محدود است. از این‌رو ارائه یک چارچوب تحلیلی و مدل ریاضی برای تعیین محل بهینه استقرار دوربین‌های ثبت تخلف سرعت می‌تواند نقش مؤثری در افزایش کارایی سامانه‌های کنترل سرعت و ارتقای ایمنی شبکه راه‌ها ایفا کند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربرد و از نظر روش اجرا، توصیفی-پیمایشی است. هدف اصلی این تحقیق ارائه یک مدل ریاضی برای مکان‌یابی بهینه سامانه‌های ثبت تخلف سرعت در شبکه راه‌های برون‌شهری است. در این راستا، تلاش شده است تا با شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی مهم‌ترین عوامل مؤثر در استقرار دوربین‌های کنترل سرعت، چارچوبی علمی برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب مکان مناسب نصب این سامانه‌ها ارائه شود.

در این پژوهش، به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، از ترکیب پژوهش کتابخانه‌ای، بررسی اسناد و داده‌های موجود و همچنین روش‌های میدانی استفاده شده است. در مرحله نخست، پژوهش کتابخانه‌ای با هدف بررسی مبانی نظری، مرور ادبیات پژوهش و استخراج شاخص‌ها و معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سامانه‌های کنترل سرعت انجام گرفت.

در مرحله بعد، به‌منظور شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر در مکان‌یابی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت، از روش میدانی و ابزار پرسش‌نامه استفاده گردید. جامعه آماری پژوهش شامل کارشناسان و متخصصان حوزه ایمنی راه، حمل‌ونقل جاده‌ای، مراکز مدیریت راه‌ها و پلیس راه بوده است که به دلیل تخصص و تجربه مرتبط، به عنوان خبرگان پژوهش انتخاب شدند. در این مطالعه، نمونه‌گیری به صورت هدفمند و بر اساس میزان تخصص و تجربه افراد در زمینه ایمنی و مدیریت ترافیک انجام شده است.

شواهد تجربی در کشورهای مختلف نیز نشان‌دهنده اثربخشی قابل‌توجه این سامانه‌ها در کاهش تصادفات جاده‌ای است. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که نصب دوربین‌های کنترل سرعت می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجه تصادفات منجر به جراحت و همچنین کاهش چشمگیر تصادفات منجر به فوت یا آسیب‌های شدید شود. با این حال، میزان موفقیت این سامانه‌ها تا حد زیادی به محل استقرار آن‌ها در شبکه راه‌ها وابسته است و انتخاب مکان مناسب برای نصب دوربین‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش کارایی آن‌ها دارد.

در این راستا، مسئله مکان‌یابی تجهیزات کنترلی به‌ویژه دوربین‌های ثبت تخلف سرعت از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند به شمار می‌رود. مطالعات مکان‌یابی با هدف تعیین بهترین محل استقرار تسهیلات یا تجهیزات در شبکه، معمولاً با استفاده از مدل‌های ریاضی، روش‌های بهینه‌سازی و ابزارهایی مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام می‌شود. در فرآیند مکان‌یابی دوربین‌های کنترل سرعت نیز عوامل متعددی از جمله میزان و شدت تصادفات، سرعت وسایل نقلیه، حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی راه و میزان پوشش شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های مختلفی در زمینه مکان‌یابی تجهیزات و زیرساخت‌های حمل‌ونقل انجام شده است. برای نمونه، درگاهی و جمیلی (۱۳۸۸) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی اجزای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در محورهای استان همدان پرداختند. علی‌نقیان و بهروزی (۱۳۸۵) نیز مدلی ریاضی برای بهینه‌سازی همزمان مکان‌یابی انبارها و مسیرهایی وسایل نقلیه ارائه کردند. در حوزه سامانه‌های کنترل سرعت، فاضلی‌فر و همکاران مدلی برای پوشش بهینه شبکه راه‌ها با استفاده از دوربین‌های ثبت تخلف سرعت ارائه کردند که در آن مناطق پرخطر بر اساس نرخ تصادفات شناسایی و مکان‌های مناسب برای نصب دوربین‌ها تعیین شد. همچنین بیابانی اردکانی (۱۳۹۳) با استفاده از تحلیل‌های فضایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی مکان‌های مناسب برای استقرار سامانه‌های نظارت تصویری در یکی از محورهای ترانزیتی کشور پرداخت.

علاوه بر این، روش‌های مکان‌یابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه‌های مختلفی نظیر مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت، تابلوهای پیام متغیر، پارکینگ‌های شهری و سایر زیرساخت‌ها نیز مورد

مؤثر در مکان‌یابی دوربین‌ها استخراج گردید. سپس این معیارها در قالب پرسش‌نامه در اختیار اعضای پانل خبرگان قرار گرفت تا میزان اهمیت و تأثیر هر یک از آن‌ها ارزیابی شود.

در اجرای روش دلفی، قواعد تحلیل داده‌ها و سطح اجماع میان خبرگان از پیش تعیین شد. بدین صورت که بر اساس نوع توزیع داده‌های جمع‌آوری‌شده، از روش‌های آماری مناسب برای تحلیل استفاده گردید. در مواردی که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بودند، از شاخص‌های آماری پارامتریک مانند توزیع فراوانی برای بررسی نتایج استفاده شد و در شرایطی که داده‌ها دارای توزیع غیرنرمال بودند، از روش‌های ناپارامتریک نظیر ضریب هم‌هنگی کندال به منظور سنجش میزان توافق میان خبرگان بهره گرفته شد.

فرآیند دلفی تا زمانی ادامه یافت که شرایط توقف تعیین‌شده در پژوهش محقق شود. این شرایط شامل سه معیار اصلی بود: نخست، تمامی معیارها یا سؤالات پژوهش از نظر خبرگان دارای اهمیت تشخیص داده شوند؛ دوم، در مراحل بعدی معیار جدیدی از سوی خبرگان پیشنهاد نشود؛ و سوم، سطح قابل قبولی از اجماع و توافق میان اعضای پانل در خصوص معیارهای مورد بررسی حاصل گردد. با تحقق این شرایط، فرآیند دلفی متوقف و معیارهای نهایی به عنوان عوامل کلیدی در تدوین مدل ریاضی مکان‌یابی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت مورد استفاده قرار گرفتند.

در پرسش‌نامه اول با توجه به موضوع پژوهش، خواسته شده است که متغیرهای مدنظر خود را در تعیین جانمایی محل نصب دوربین‌های ثابت ثبت تخلف سرعت را اعلام نمایند. متغیرهای درج شده توسط کارشناسان مربوطه به چهار دسته متغیر به شرح زیر تقسیم بندی گردید:

متغیرهای مربوط به هندسه راه

– شرایط روسازی محور و نقطه
– شرایط هندسی راه (از قبیل قوس افقی یا قائم، شانه محورف تقاطع‌ها)

– شرایط راه‌های دسترسی به راه

– شرایط جوی و محیطی محل (آب و هوا، میزان روشنایی و قابلیت دید)

– فاصله محل از تقاطع‌ها و دسترسی‌ها

– شیب مسیر در محل

– وضعیت جغرافیایی محل و محور (کوهستانی یا هموار بودن)

برای جمع‌آوری داده‌های میدانی، پرسش‌نامه‌ای بر اساس شاخص‌های استخراج‌شده از مطالعات نظری و پیشینه پژوهش طراحی گردید. معیارهای مورد بررسی در قالب چهار گروه اصلی شامل شاخص‌های ایمنی، شاخص‌های ترافیکی، شاخص‌های هندسی و فیزیکی راه و شاخص‌های مرتبط با زیرساخت‌های فنی موجود دسته‌بندی شدند. سپس نظرات خبرگان در خصوص میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها جمع‌آوری و تحلیل شد.

همچنین، به‌منظور غربال‌گری، اصلاح و اولویت‌بندی شاخص‌ها از روش دلفی استفاده شده است. روش دلفی یکی از روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان است که با هدف دستیابی به اجماع گروهی در موضوعات تخصصی و پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، فرآیند دلفی در چند مرحله اجرا شد؛ به‌گونه‌ای که پس از توزیع پرسش‌نامه اولیه و دریافت نظرات کارشناسان، شاخص‌ها مورد بررسی و اصلاح قرار گرفتند و در مراحل بعدی، با ارائه بازخورد نتایج به خبرگان، میزان توافق و اهمیت شاخص‌ها مشخص شد. در نهایت، شاخص‌هایی که بیشترین میزان توافق و اهمیت را داشتند به عنوان معیارهای نهایی مدل انتخاب شدند.

پس از تعیین شاخص‌های نهایی و وزن‌دهی آن‌ها، از نتایج حاصل به‌منظور تدوین مدل ریاضی مکان‌یابی استفاده شد. در این مدل، ارتباط میان شاخص‌های مؤثر در قالب یک چارچوب تحلیلی تعریف گردید تا بتوان مناسب‌ترین مکان‌ها را برای استقرار سامانه‌های ثبت تخلف سرعت تعیین نمود.

در بخش تحلیل داده‌ها نیز از روش‌های آماری توصیفی و تحلیلی استفاده شد. داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها پس از جمع‌آوری، دسته‌بندی و کدگذاری شدند و سپس با استفاده از روش دلفی و تحلیل‌های آماری، میزان اهمیت و اولویت هر یک از معیارها تعیین گردید. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها مبنای طراحی مدل نهایی پژوهش قرار گرفت.

۴- مدل‌سازی و تحلیل داده‌های پژوهش

در این پژوهش به منظور شناسایی و غربال‌گری معیارهای مؤثر در انتخاب مکان نصب دوربین‌های ثبت تخلف سرعت از روش دلفی استفاده شد. در مرحله نخست، با بررسی ادبیات پژوهش و مطالعات پیشین و همچنین بهره‌گیری از دیدگاه‌های خبرگان حوزه ایمنی راه و حمل‌ونقل جاده‌ای، فهرستی اولیه از معیارهای

جدول ۱. مقادیر آلفای کرونباخ پرسشنامه دور اول دلفی

N of Items	Cronbach's Alpha
۱۳	۰/۷۷۱

جدول ۲. مقدار آماره کشیدگی و چولگی برای پرسشنامه‌های

دور اول دلفی

	چولگی		کشیدگی	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Q1	-۱/۵۷۶	۰/۶۱۶	۱/۸۰۱	۱/۱۹۱
Q2	-۰/۴۸۱	۰/۶۱۶	-۰/۵۳۹	۱/۱۹۱
Q3	-۰/۱۴۸	۰/۶۱۶	-۱/۵۰۲	۱/۱۹۱
Q4	-۰/۱۸۲	۰/۶۱۶	-۰/۳۶۱	۱/۱۹۱
Q5	-۰/۰۶۱	۰/۶۱۶	-۰/۷۵۸	۱/۱۹۱
Q6	-۰/۵۷۲	۰/۶۱۶	۰/۸۲۳	۱/۱۹۱
Q7	-۰/۵۵۸	۰/۶۱۶	-۰/۶۴۱	۱/۱۹۱
Q8	-۰/۵۳۹	۰/۶۱۶	-۰/۸۱۴	۱/۱۹۱
Q9	-۰/۴۶۲	۰/۶۱۶	-۰/۶۷۴	۱/۱۹۱
Q10	-۰/۸۸۹	۰/۶۱۶	-۰/۱۵۵	۱/۱۹۱
Q11	۰/۰۰۰	۰/۶۱۶	۰/۴۴۱	۱/۱۹۱
Q12	-۰/۳۰۷	۰/۶۱۶	-۱/۲۸۲	۱/۱۹۱
Q13	-۰/۷۶۸	۰/۶۱۶	-۰/۸۲۵	۱/۱۹۱
Q14	-۰/۳۴۱	۰/۶۱۶	-۱/۰۴۹	۱/۱۹۱
Q15	۰/۳۸۶	۰/۶۱۶	-۰/۴۴۳	۱/۱۹۱
Q16	-۱/۴۳۰	۰/۶۱۶	۳/۲۷۸	۱/۱۹۱
Q17	۰/۳۵۳	۰/۶۱۶	۰/۱۷۵	۱/۱۹۱
Q18	-۰/۲۹۷	۰/۶۱۶	-۱/۵۳۷	۱/۱۹۱
Q19	-۰/۴۲۹	۰/۶۱۶	-۰/۶۷۳	۱/۱۹۱
Q20	۰/۳۷۳	۰/۶۱۶	-۱/۰۳۴	۱/۱۹۱
Q21	۰/۱۷۵	۰/۶۱۶	۰/۴۹۰	۱/۱۹۱
Q22	-۱/۰۹۷	۰/۶۱۶	۱/۳۷۱	۱/۱۹۱

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان آلفای کرونباخ پرسشنامه دور نخست برابر ۰/۷۷۱ می‌باشد (بیشتر از مقدار ۰/۷ می‌باشد) بنابراین پرسشنامه پژوهش از نظر پایایی مورد تأیید می‌باشد. همچنین مقدار آماره برای شاخص چولگی و کشیدگی برای همه سؤالات در دامنه (۲ و -۲) قرار دارد، بنابراین می‌توان نرمال بودن توزیع داده‌های پرسشنامه را پذیرفت.

با مشخص شدن نرمال بودن توزیع داده‌های پرسشنامه به بررسی قواعد دلفی پرداخته می‌شود. بدین منظور، برای مشخص

-بعد از سرازیری‌های تند

-قبل از تقاطع‌های مهم نصب شود

-در محدوده ۳۰ کیلومتری شهرها نصب شود

-قبل از قوس‌های افقی شدید نصب شود

-در مسیرهای مستقیم و هموار محدوده دوربین کمتر باشد

متغیرهای ترافیکی

-درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز

-میزان حجم تردد محور

-درصد عبور وسایل نقلیه سنگین در محل

-محدوده کنترل سرعت هر دوربین

متغیرهای ایمنی

-حادثه خیز بودن محل

-ایمن بودن محل

-تعداد تصادف منجر به فوت در محدوده نصب دوربین

متغیرهای تجهیزاتی

-نحوه انتقال داده‌ها از طریق فیبر، رادیو، GSM)

-نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)

-نوع تکنولوژی سامانه قابل نصب در محل

پس از جمع بندی متغیرها با استفاده از روش دلفی و تزیع سه مرحله پرسش‌نامه نسبت به تعیین متغیرهای اصلی و مهم و نیز درجه اهمیت آنها جهت طراحی معادله ریاضی اقدام و نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد.

پس از شناسایی معیارهای مؤثر در انتخاب مکان نصب دوربین، این عوامل در قالب پرسش‌نامه با مقیاس طیف لیکرت هفت تایی گنجانده شد. در مرحله بعد، پرسش‌نامه طراحی گردید و بین خبرگان توزیع شد تا داده‌های گردآوری شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. لازم به ذکر است در این مطالعه پرسش‌نامه اولیه در اختیار برخی از خبرگان قرار گرفت تا به بررسی اولیه پرسش‌نامه بپردازند.

برای بررسی پایایی پرسش‌نامه نیز از آلفای کرونباخ استفاده شد. جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب میزان آلفای کرونباخ و مقدار کشیدگی و چولگی داده‌های پرسش‌نامه دور اول روش دلفی را نشان می‌دهد.

حد آستانه باشد به عنوان معیار مهم و کلیدی در انتخاب مکان نصب دوربین شناخته می‌شوند و معیارها یا سوال‌هایی که مقدار میانگین نظرات خبرگان برای آنها کمتر از مقدار حد آستانه باشد، به عنوان معیارهای کم اثر یا کم اهمیت‌تر شناخته می‌شوند.

کردن عوامل مهم از میانگین نظرات خبرگان به همراه حد آستانه استفاده می‌شود. در این مطالعه، چون هدف شناسایی معیارهای بسیار مهم و کلیدی است، از عدد ۵ بر اساس نظر خبرگان به عنوان حد آستانه استفاده شده است. به عبارت دیگر معیارها یا سوالاتی که مقدار میانگین نظرات خبرگان آن بزرگتر مساوی

جدول ۳. تجمع و میانگین نظرات خبرگان برای پرسش‌نامه دور اول

ردیف	هر یک از معیارهای زیر تا چه اندازه در انتخاب محل نصب دوربین اهمیت دارند	بسیار کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	زیاد (۴)	بسیار زیاد (۵)	زیاد (۶)	خیلی زیاد (۷)	میانگین نظرات خبرگان	درصد اجماع
۱	درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز						۲	۱۰		
۲	محدوده کنترل سرعت هر دوربین			۱	۲	۳	۴	۳		
۳	میزان حجم تردد محور				۳	۳	۳	۴		
۴	شرایط جوی و محیطی محل (آب و هوا، میزان روشنایی و قابلیت دید)		۲	۲	۲	۵	۳	۱		
۵	شرایط روسازی محور و نقطه	۱	۱	۳	۳	۱	۳	۱		
۶	شرایط هندسی راه (از قبیل قوس افقی یا قائم، شانه محورف تقاطع‌ها)		۱	۱	۲	۶	۲	۱		
۷	شرایط راه‌های دسترسی به راه	۱	۱	۲	۱	۳	۳	۲		
۸	فاصله محل از تقاطع‌ها و دسترسی‌ها		۱	۲	۲	۲	۵	۱		
۹	درصد عبور وسایل نقلیه سنگین در محل	۱		۳	۱	۳	۱	۴		
۱۰	حادثه خیز بودن محل			۱	۱	۳	۲	۶		
۱۱	ایمن بودن محل	۱	۱	۲	۵	۲	۱	۱		
۱۲	شیب مسیر در محل				۳	۵	۵			
۱۳	نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، ...)				۲	۲	۳	۶		
۱۴	نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)			۱	۳	۲	۴	۳		
۱۵	وضعیت جغرافیایی محل و محور (کوهستانی یا هموار بودن)				۲	۶	۳	۲		
۱۶	بعد از سرازیری‌های تند	۱			۲	۴	۴	۲		
۱۷	قبل از تقاطع‌های مهم نصب شود			۱	۴	۵	۲	۱		
۱۸	در محدوده ۳۰ کیلومتری شهرها نصب شود		۱	۳	۲		۵	۲		
۱۹	تعداد تصادف منجر به فوت در محدوده نصب دوربین			۲	۱	۴	۳	۳		
۲۰	نوع تکنولوژی سامانه قابل نصب در محل				۴	۴	۳	۲		
۲۱	قبل از قوس‌های افقی شدید نصب شود			۱	۳	۶	۲	۱		
۲۲	در مسیرهای مستقیم و هموار محدوده دوربین کمتر باشد	۱	۱		۲	۶	۲	۱		

جدول ۵. مقدار آماره کشیدگی و چولگی

برای پرسش‌نامه‌های دور دوم دلفی

	چولگی		کشیدگی	
	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Q1	-۱/۴۷۱	۰/۵۹۷	۱/۵۳۹	۱/۱۵۴
Q2	-۱/۵۲۳	۰/۵۹۷	۱/۳۶۰	۱/۱۵۴
Q3	۰/۲۳۳	۰/۵۹۷	-۱/۶۸۷	۱/۱۵۴
Q4	-۱/۰۲۹	۰/۵۹۷	۰/۸۴۳	۱/۱۵۴
Q5	-۰/۷۲۵	۰/۵۹۷	-۰/۴۱۴	۱/۱۵۴
Q6	-۰/۶۸۱	۰/۵۹۷	-۰/۳۰۳	۱/۱۵۴
Q7	۰/۲۸۶	۰/۵۹۷	-۰/۸۶۳	۱/۱۵۴
Q8	-۱/۰۴۱	۰/۵۹۷	۱/۱۴۳	۱/۱۵۴
Q9	-۰/۸۶۰	۰/۵۹۷	-۰/۳۰۴	۱/۱۵۴
Q10	-۱/۰۷۸	۰/۵۹۷	۱/۷۵۳	۱/۱۵۴
Q11	-۰/۷۲۸	۰/۵۹۷	۰/۸۲۰	۱/۱۵۴
Q12	۰/۲۷۴	۰/۵۹۷	-۱/۱۰۳	۱/۱۵۴

پرسش‌نامه دور دوم نیز همانند پرسش‌نامه دور اول از پایایی مناسب برخوردار است و داده‌های دور دوم نیز از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. با مشخص شدن نرمال بودن توزیع داده‌های پرسش‌نامه به بررسی قواعد دلفی پرداخته می‌شود.

جدول ۶. تجمیع و میانگین نظرات خبرگان برای پرسش‌نامه دور دوم

شماره	هر یک از معیارهای زیر تا چه اندازه در انتخاب محل نصب دوربین اهمیت دارند	بسیار کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	نسبتاً زیاد (۴)	زیاد (۵)	خیلی زیاد (۶)	میانگین نظرات خبرگان	درصد اجماع
۱	درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز			۱	۱	۱	۴	۷	
۲	محدوده کنترل سرعت هر دوربین	۱		۳	۴	۲	۲	۲	
۳	میزان حجم تردد محور			۱	۶	۱	۲	۴	
۴	حادثه خیز بودن محل		۱		۲	۳	۳	۵	
۵	شیب مسیر در محل	۱	۱	۲	۱	۳	۵	۲	
۶	نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM)		۱	۱	۲	۳	۳	۴	
۷	نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پیل خورشیدی یا دوربین بادی)		۲		۱	۴	۷		

همانند دور دوم، در دور سوم سوالاتی که در دور قبل کم‌اهمیت‌تر شناخته شدند، از پژوهش حذف و بر اساس موارد باقیمانده، طراحی پرسش‌نامه دور سوم طراحی شد. داده‌های دور سوم نیز دارای توزیع نرمال بوده و مقدار آلفای کرونباخ آن نیز برابر با ۰/۷۱۲ می‌باشد.

مقدار میانگین نظرات خبرگان برای تعداد ۵ سؤال کمتر از حد آستانه (۵) می‌باشد که در جدول بالا با رنگ دیگر مشخص شده‌اند. بنابراین این سؤالات یا معیارها از اهمیت کمتری نسبت به سایر معیارها برخوردار هستند و به علت محدودیت در پژوهش، سؤالات مربوط به این معیارها از پرسش‌نامه دور دوم حذف می‌شود. با توجه به عدم برآورده شدن شروط توقف روش دلفی، نیازمند اجرای دور سوم روش دلفی است.

جدول ۷. تجمیع و میانگین نظرات خبرگان برای پرسش‌نامه دور سوم

شماره	هر یک از معیارهای زیر تا چه اندازه در انتخاب محل نصب دوربین اهمیت دارند	رتبه اول (۱)	رتبه دوم (۲)	نسبتاً کم (۳)	متوسط (۴)	نسبتاً زیاد (۵)	زیاد (۶)	خیلی زیاد (۷)	میانگین نظرات خبرگان	درصد اجماع
۱	درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز				۱	۲	۱	۱۰		
۲	محدوده کنترل سرعت هر دوربین				۷		۴	۳		
۳	میزان حجم تردد محور			۱	۱	۳	۱	۸		
۴	حادثه خیز بودن محل	۱			۳	۱	۷	۲		
۵	شیب مسیر در محل			۱	۱	۴	۷	۱		
۶	نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM)				۸	۱	۲	۳		
۷	نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)	۱				۷	۳	۳		

از میان عوامل شناسایی شده، ۷ عامل باقیمانده در انتهای روش دلفی به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر شناسایی می‌شوند. وزن هر یک از شاخص‌های مهم در جدول ۸ ارائه شد.

جدول ۸. مقدار وزن هر یک از معیارهای پژوهش

شماره	اهمیت هر یک از معیارهای در انتخاب محل نصب دوربین	وزن
۱	درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز	۰/۱۶۵
۲	محدوده کنترل سرعت هر دوربین	۰/۱۳۴
۳	میزان حجم تردد محور	۰/۱۵۴
۴	حادثه خیز بودن محل	۰/۱۳۸
۵	شیب مسیر در محل	۰/۱۴۰
۶	نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM)	۰/۱۲۹
۷	نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)	۰/۱۴۰

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تمامی پرسش‌های پژوهش دارای میانگینی بیشتر از حد آستانه می‌باشند، بنابراین در این مرحله تمام سؤالات یا عوامل پژوهش از اهمیت قابل قبول برخوردار هستند. با توجه به این‌که در این مرحله تمامی پرسش‌ها، مهم تلقی شده و هیچ عامل جدیدی نیز توسط خبرگان به پژوهش اضافه نشده، دو شرط اول توقف حاصل شده است. سومین شرط توقف این است که علاوه بر میانگین نظرات خبرگان، باید خبرگان در مورد سؤالات از اجماع مشخصی برخوردار باشند. در این مطالعه بر اساس پژوهش مک کنا (۱۹۹۴) در صورتی که ۵۰ درصد از خبرگان در مورد یک سؤال اتفاق نظر داشته باشند، گفته می‌شود که در مورد آن سؤال اجماع وجود دارد (McKenna, 1999). با توجه به نتایج جدول بالا همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان اجماع تمامی پرسش‌های پژوهش بیش از ۵۰ درصد می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت که پرسش‌نامه از اجماع مورد قبولی برخوردار است. بر اساس نتایج روش دلفی

$$\begin{aligned} \max F_X(x) = & v_1(x)G_1(x) \\ & + S_1(x)G_2(x) \\ & + V_1(x)G_3(x) \\ & + P_1(x)G_4(x) \\ & + \theta_1(x)G_5(x) \\ & - D_1(x)G_6(x) \\ & - E_1(x)G_7(x) \end{aligned} \quad (2)$$

در رابطه فوق:

- v_1 : درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز
- G_1 : ضریب درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز
- S_1 : محدوده کنترل سرعت هر دوربین
- G_2 : ضریب محدوده کنترل سرعت هر دوربین
- V_1 : میزان حجم تردد محور
- G_3 : ضریب میزان حجم تردد محور
- P_1 : حادثه خیز بودن محل
- G_4 : ضریب حادثه خیز بودن محل
- θ_1 : شیب مسیر در محل
- G_5 : ضریب شیب مسیر در محل
- D_1 : نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM)
- G_6 : ضریب نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM)
- E_1 : نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)
- G_7 : ضریب نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی)

با توجه به رابطه بدست آمده برای تعیین نقاط بهینه، ضمن بازدید میدانی، متغیرهای هر نقطه مشخص و در معادله جایگذاری شد و براساس میزان بیشترین مقدار محاسبه شده نقاط جهت نصب دوربین اولویت بندی می‌گردد.

برای کنترل صحت معادله نیز در محور اصفهان-مبارکه طی بازدید میدانی با حضور کارشناسان مربوطه (پلیس راه، راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، شرکت برق و مخابرات) نقاطی جهت نصب دوربین انتخاب و مقادیر متغیرهای معادله برای نقاط مورد نظر محاسبه گردید.

پس از محاسبه وزن و ضریب هفت متغیر نهایی، به منظور یکسان‌سازی و تبدیل کلیه مقیاس متغیرها به یک مقیاس واحد، رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$G_i(x) = \frac{Fi(x)}{\max Fi(x)} \quad (1)$$

به همین منظور برای هر متغیر حداکثر مقادیر مجاز (تعیین می‌شود، سپس مقادیر محاسبه شده هر متغیر از فرم‌های نظر سنجی خبرگان در رابطه فوق قرار داده شده و عدد محاسبه شده وارد معادله اصلی می‌شود. ضمناً توجه به نکات زیر ضروری است:

- برای متغیر درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز حداکثر مقدار مجاز ۸۵ درصد می‌باشد.
- برای متغیر محدوده کنترل سرعت هر دوربین حداکثر ۱۵۰۰ متر می‌باشد.
- برای متغیر میزان حجم تردد محور حداکثر مقدار مجاز ۴۰۰ خودرو در روز می‌باشد.
- برای متغیر حادثه خیز بودن محل حداقل مقدار مجاز ۳۰ می‌باشد.
- برای متغیر شیب مسیر در محل حداکثر مقدار مجاز ۳ درصد می‌باشد و برای مسیر سربالایی منفی و برای سرازیری مثبت فرض می‌گردد. طبق فرضیات شیب مسیر کوهستانی ۷ درصد، هموار یا دشت ۳ درصد و تپه ماهوری بین ۳ تا ۷ درصد.
- برای متغیر نحوه انتقال داده‌ها (از طریق فیبر، رادیو، GSM) با توجه به اینکه هزینه‌های مربوط به راه اندازی هر گونه ارتباطی متغیر می‌باشد و براساس بررسی‌های صورت گرفته از لحاظ هزینه‌های اولیه ارتباط از طریق فیبر نوری بیشتر از سایر روش‌های ارتباطی می‌باشد، ولی هزینه‌های نگهداری ثانویه در حد صفر است و بر همین اساس، بستر فیبر نوری بهترین و سریع‌ترین روش ارتباطی در نظر گرفته می‌شود.
- در هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، ارتباط فیبری کمترین میزان هزینه را دارد.
- برای پارامتر متغیر نحوه تأمین انرژی دوربین (شبکه برق، پنل خورشیدی یا دوربین بادی) حداکثر مقدار مجاز ۱۰۰ درصد می‌باشد.

حسب سال)، I فاکتور شدت تصادفات در نقطه دارای تصادف در دوره زمانی T که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I = x + 3y + 9z \quad (4)$$

در رابطه فوق، x تصادفات خسارتی، y تصادفات جرحی و z تصادفات فوتی در نقطه دارای تصادف در دوره زمانی T می‌باشند.

همچنین پارامتر A ، ضریب عملکردی است که برای راه‌های فرعی برابر ۲، برای راه‌های اصلی با عملکرد استانی برابر ۴، برای راه اصلی با عملکرد ملی برابر ۶ و برای بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها برابر ۸ منظور می‌شود.

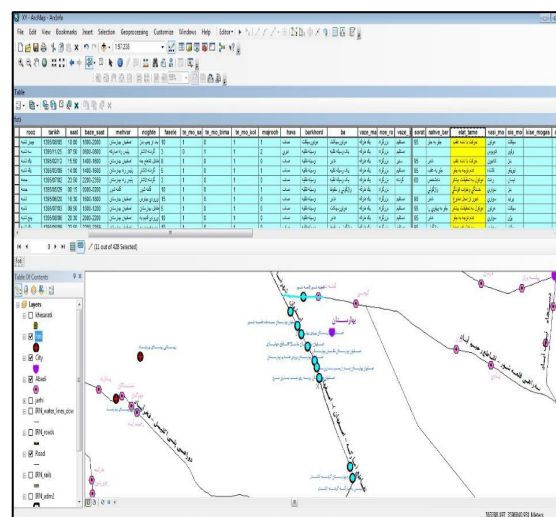
همچنین برای تعیین درصد عبور وسایل نقلیه با سرعت غیرمجاز، با استفاده از اطلاعات ترددشمار برخط موجود در محور مورد نظر، درصد وسایل نقلیه دارای سرعت غیرمجاز نیز محاسبه گردید. حجم تردد روزانه نیز از اطلاعات ترددشمار استخراج گردید.

در محدوده کنترل سرعت، با توجه به وضعیت محور (کوهستانی یا هموار بودن) محدوده پوشش هر نقطه محاسبه گردید.

با توجه به وضعیت نقاط و میزان دسترسی به بسترهای انتقال داده نسبت به مشخص نمودن نوع بستر ارتباطی تصمیم‌گیری‌های لازم اتخاذ شد. همچنین با توجه به امکان و یا عدم خرید انشعاب برق برای هر نقطه، در جدول مربوطه نوع سیستم تامین انرژی مشخص گردید.

برای تعیین نقاط بهینه جهت نصب دوربین، می‌توان به جدول ۹ مراجعه کرد.

برای شناسایی نقاط پرحادثه و محاسبه متغیر P ، با توجه اطلاعات موجود تصادفات طی ۵ سال گذشته و درج مختصات جغرافیایی نقاط در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقاط پرحادثه در محور مورد نظر شناسایی و شاخص تصادف P طبق رابطه ۲ محاسبه و در جدول مربوط به محاسبات تعیین نقاط بهینه جایگذاری گردید.



شکل ۱. اطلاعات درج شده در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدار شاخص تصادفات، P ، در دوره زمانی ثبت اطلاعات تصادفات، T ، برای یک نقطه دارای تصادف مشخص از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$P = \frac{1000 * I}{365 * A * T} \quad (3)$$

عدد P تا دو رقم پس از اعشار محاسبه می‌گردد. در این رابطه، T طول دوره زمانی سالانه جمع‌آوری و ثبت اطلاعات تصادفات (بر

جدول ۹. تعیین نقاط بهینه جهت نصب دوربین

محور مبارکه- شهرضا										نام محور	
نقطه یک	نقطه دو	نقطه سه	نقطه چهار	نقطه پنج	نقطه شش	نقطه هفت	نقطه هشت	نقطه نه	نقطه ده	مقدار مجاز	پارامترها
۴۰	۲۵	۴۰	۳۰	۶۰	۵۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۸۰	درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت مجاز
۰/۵	۰/۳۱	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۷۵	۰/۶۳	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۶۳		محاسبات پارامتر درصد عبور وسایل نقلیه بالای سرعت غیر مجاز
۱۴۰ ۰	۱۰۰ ۰	۵۰۰	۷۰۰	۱۰۰ ۰	۵۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۱۴۰ ۰	۹۵۰	محدوده کنترل سرعت هر دوربین
۱/۴۷	۱/۰۵	۰/۵۳	۰/۷۴	۱/۰۵	۰/۵۳	۰/۸۴	۰/۵۳	۰/۶۳	۱/۴۷		محاسبات پارامتر محدوده کنترل سرعت هر دوربین
۲۵۰	۴۰۰	۲۶۰	۶۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۲۰	۵۵۰	۴۰۰	میزان حجم تردد محور
۰/۶۳	۱/۰۰	۰/۶۵	۱/۵۰	۰/۳۸	۰/۷۵	۱/۵۰	۱/۰۰	۰/۵۵	۱/۳۸		محاسبات پارامتر حجم تردد محور
۶۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۵	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۷۰	۲۰	حادثه‌خیز بودن
۲/۰۰	۱/۳۳	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۸۳	۱/۳۳	۱/۶۷	۲/۰۰	۲/۳۳	۲/۳۳		محاسبات پارامتر حادثه‌خیز بودن
۸- ۰	۴	۲	۱	۳	۴	۲- ۰	۳	۳	۳	۲	شیب مسیر
۲/۶۷ ۰	۱/۳۳	۰/۶۷	۰/۳۳	۱/۰۰	۱/۳۳	۰/۶۷ ۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲	محاسبات پارامتر شیب مسیر
۲	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۳	نحوه انتقال داده‌ها
۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۳	محاسبات پارامتر انتقال داده‌ها
۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱		نحوه تامین انرژی دوربین
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳		محاسبات پارامتر تامین انرژی دوربین
۰/۵۱	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۸۵	۱/۱۱		محاسبات نهایی

۵- نتیجه گیری

با توجه به نقش مؤثر تخلفات رانندگی، به ویژه سرعت غیرمجاز، در بروز تصادفات جاده‌ای، استفاده از سامانه‌های هوشمند کنترل سرعت به یکی از مهم‌ترین راهکارهای ارتقای ایمنی راه‌ها تبدیل شده است. با این حال، اثربخشی این سامانه‌ها تا حد زیادی به انتخاب صحیح محل استقرار آن‌ها وابسته است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی برای مکانیابی بهینه سامانه‌های ثابت ثبت تخلف سرعت در شبکه راه‌های برون‌شهری بوده است.

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی دستورالعمل‌های سازمان راه‌داری و حمل‌ونقل جاده‌ای و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان حوزه ایمنی و مدیریت ترافیک، مجموعه‌ای از معیارهای مؤثر در مکان‌یابی دوربین‌های کنترل سرعت شناسایی شد. سپس با استفاده از روش دلفی، معیارهای نهایی استخراج و اولویت‌بندی گردید. نتایج حاصل نشان داد که شاخص‌های ترافیکی، ایمنی، ویژگی‌های هندسی راه و زیرساخت‌های فنی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب محل نصب سامانه‌ها هستند.

در ادامه، بر اساس معیارهای منتخب، یک مدل ریاضی برای ارزیابی و اولویت‌بندی نقاط کاندید طراحی شد. در این مدل، متغیرهایی نظیر درصد تخلفات سرعت، حجم تردد، محدوده پوشش دوربین، وضعیت حادثه‌خیزی، شیب مسیر، نحوه انتقال داده‌ها و تأمین انرژی سامانه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج ارزیابی میدانی و مقایسه خروجی مدل با نظرات کارشناسان نشان داد که مدل پیشنهادی از دقت قابل قبولی در شناسایی نقاط مناسب برخوردار است و می‌تواند به عنوان ابزاری تحلیلی در فرآیند مکان‌یابی سامانه‌های ثبت تخلف سرعت مورد استفاده قرار گیرد.

یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که استفاده از مدل‌های کمی و داده‌محور می‌تواند ضمن کاهش وابستگی فرآیند مکان‌یابی به قضاوت‌های فردی، دقت تصمیم‌گیری را افزایش داده و از اتلاف هزینه‌های اجرایی جلوگیری نماید. همچنین انتظار می‌رود استقرار بهینه سامانه‌های کنترل سرعت، نقش مؤثری در کاهش تخلفات رانندگی، کاهش تصادفات و ارتقای ایمنی شبکه راه‌ها داشته باشد.

اجرای این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه بوده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: نبود بانک اطلاعات جامع و دقیق

تصادفات جاده‌ای، به ویژه اطلاعات مکانی نقاط حادثه‌خیز؛ محدودیت در دسترسی به اطلاعات زیرساخت‌های ارتباطی نظیر شبکه فیبر نوری در محورهای مورد مطالعه؛ نبود اطلاعات کامل درباره طرح‌های توسعه و تغییرات آتی محورهای جاده‌ای و وابستگی دقت نتایج مدل به صحت و دقت داده‌های ورودی و اطلاعات میدانی.

همچنین، بر اساس نتایج پژوهش، پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ارائه می‌شود، از قبیل استفاده از داده‌های بلندمدت تصادفات و ترافیک به منظور افزایش دقت تحلیل‌ها؛ توسعه بانک اطلاعات مکانی جامع برای ثبت و تحلیل تصادفات جاده‌ای؛ بررسی تأثیر سایر متغیرهای هندسی و محیطی راه در مدل‌های مکان‌یابی؛ ارزیابی عملکرد دوربین‌های نصب‌شده و میزان تأثیر آن‌ها بر کاهش تخلفات و تصادفات؛ توسعه زیرساخت‌های ارتباطی نظیر فیبر نوری برای افزایش کارایی سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل؛ بهبود و توسعه مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از روش‌های پیشرفته بهینه‌سازی و تحلیل داده؛ و تعمیم مدل ارائه‌شده به سایر سامانه‌های هوشمند حمل‌ونقل جاده‌ای با توجه به ویژگی‌ها و معیارهای اختصاصی هر سامانه.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Intelligent Transportation Systems (ITS)
2. New South Wales
3. Operation Research (OR)
4. Pull
5. Push
6. Balancing
7. Geographic Information systems (GIS)
8. Weight in Motion (WIM)

۷- مراجع

- علینقیان، مهدی و بهروزی، مهدی. (۱۳۸۵). ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی به منظور مکان‌یابی انبارها در مسیر یابی وسایل نقلیه یک واحد تولیدی با ارائه حل مدل. دومین کنفرانس ملی لجستیک و زنجیره تأمین ایران.
- سپهری، امیراحمد و رضایی، امیرحسین (۱۳۸۴). دوربین سرعت سنج، گذشته، حال و آینده.

-مرادی، عباس و جلالی شولی، منیژه و بختیاری کیا، مسعود (۱۳۹۵). شناسایی معیارهای آمایش سرزمین به منظور مکان یابی کمپینگ‌های اسکان موقت گردشگران با استفاده از روش دلفی جزیره قشم. سومین کنفرانس سراسری نوآوری‌های اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

-ARRB Group Project Team (2005). Evaluation of the fixed speed camera program in NSW. *Road & Traffic Authority*, NSW.

-Kuafman, L & Broeckx, F, (1981). Two Families of Location-Transportation problem. Management of Transport North-Holland Systems, *Publishing Company*, 163-174.

-احمدی، سید شاهو و امیری، محمدجواد (۱۳۹۸). تعیین شاخص‌های موثر در مکانیابی پارکینگ‌های طبقاتی شهر سنندج با تکنیک دلفی فازی. ششمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی با محوریت علم در خدمت توسعه، تهران.

-داری پور، نادیا و عبیاتی، حنان و مرادی، ابودر (۱۳۹۵). مکان‌یابی آرامستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر لیکک). چهارمین کنفرانس علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی معماری و شهرسازی ایران، تهران.

A Mathematical Model for Locating Intelligent Road Transportation Systems

(Case Study: Fixed Camera System for Speed Violation Registration)

Ali Serkani, M.Sc., Stud., Islamic Azad University, Isfahan Branch, Isfahan, Iran.

Ali Abdi Kordani, Professor, Department of Civil Engineering - Transportation Planning, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Mohammad Saeidi, M.Sc., Stud., Transportation Planning Department, SR.C., Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

E-mail: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

Optimal location selection of fixed speed enforcement cameras is a key component of effective speed management, road safety enhancement, and the reduction of highway accidents. The objective of this research is to propose a model for the optimal placement of speed enforcement cameras on intercity roads, aiming to transition the selection process from empirical, intuition-based decision-making to a scientifically and analytically grounded approach. This study is classified as descriptive-survey research in terms of its purpose and methodology. Data were collected via questionnaires, leveraging the expertise of professionals in road safety, road transport, road management centers, and highway police. The Delphi method was employed to identify, refine, and prioritize the indicators influencing camera placement. Ultimately, the final criteria were categorized into four primary dimensions: safety factors, traffic factors, geometric and physical road characteristics, and existing technical infrastructure. Subsequently, through data modeling and analysis, a framework was developed to evaluate and select suitable installation points, identifying the optimal locations for speed enforcement cameras within the intercity road network. The findings demonstrate that adopting an analytical model-based approach, integrated with expert judgment, can enhance the accuracy and efficiency of decision-making in the placement of surveillance equipment. Furthermore, the proposed model enables a focus on high-risk areas, improves speed management, elevates transit safety levels, and ensures the optimal utilization of resources and investments in the road transport sector.

Keywords: Intelligent Transportation Systems (ITS), Location Selection, Fixed Speed Enforcement Cameras, Delphi Method