اثرسنجی نصب دوربین‌های کنترل سرعت متوسط در کاهش سرعت وسایل نقلیه در راه‌های چندخطه برون‌شهری

مقاله پژوهشی

مهدی حیدری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
حمیدرضا بهنود*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
آرزو حاج‌رجبی، استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: behnood@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۱۱/۲۰- پذیرش: ۱٤۰۰/۰٦/۰۵
صفحه ۲۵۸-۲٤۵

چکیده

یکی از مشکلات سیستم‌های کنترل سرعت لحظه‌ای این است که سرعت خودروهای عبوری، تنها در نقاط مشخصی از مسیر بررسی شده و رفتار رانندگان در تمام مسیر قابل‌بررسی نمی‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، اثرسنجی کاهش سرعت دوربین‌های کنترل سرعت متوسط وسایل نقلیه در راه‌های برون‌شهری است. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های آماری آزمون فرض و سری زمانی، میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه نسبت به حالت بدون دوربین به دست آمده و تغییرات سرعت در پی نصب و راه‌اندازی دوربین‌های کنترل سرعت متوسط بررسی شده است. برای این ارزیابی ۹ محور در مناطق مختلف ایران انتخاب شده‌اند. برای اندازه‌گیری و تحلیل اثرسنجی از روش‌های آزمون فرض آماری و سری‌های زمانی استفاده شده است. محورهای مورد مطالعه در مقطع مورد بررسی دارای دوربین‌های کنترل سرعت متوسط بوده که اطلاعات و زمان نصب این دوربین‌ها از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای گرفته شده است. به طور کلی، میانگین سرعت خودروها قبل از نصب دوربین‌ها برابر ۸۹/۶۶ کیلومتر بر ساعت و بعد از نصب دوربین‌ها برابر ۸٤/۰۸ کیلومتر بر ساعت بوده است که کاهش ۵/۵۸ کیلومتر بر ساعت را نشان می‌دهد. میانگین درصد کاهش سرعت متوسط نیز برابر ۵/۲۵ درصد بوده که میزان قابل قبولی را نشان می‌دهد. طبق خروجی‌های آزمون فرض در سطح اطمینان ۹۵ درصدی، در ۶ محور از ۹ محور موردبررسی، سرعت متوسط وسایل نقلیه کاهش معناداری پیداکرده است. این نتیجه بدان معنی نیست که در بقیه محورها کاهشی وجود نداشته بلکه کاهش سرعت به میزان قابل‌توجهی نبوده است. به طور کلی، تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت متوسط در کاهش سرعت خودروها در مسیرهایی که حجم تردد کمتری داشته‌اند، نسبت به مسیرهای پرتردد بیشتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: دوربین کنترل سرعت متوسط، کاهش سرعت، آزمون فرض، سری زمانی

۱- مقدمه

سرعت یکی از علل اصلی بروز تصادفات جاده‌ای و افزایش تلفات مربوط به آن می‌باشد. ارتباط بین سرعت و ایمنی بر دو اصل استوار است: اول ارتباط بین سرعت و شدت تصادف که مطالعات مختلف بر آن تاکید داشته‌اند و ارتباط بین سرعت و تعداد تصادف که عمدتا تاثیر پراکندگی سرعت بر تعداد تصادف بیشتر نمود داشته است (Shinar, 2017). برای حل مشکل سرعت غیرمجاز و افزایش ایمنی راهکارهای متنوعی مورد بررسی قرار گرفته که ازجمله آنها می‌توان به دوربین‌های کنترل سرعت لحظه‌ای و متوسط اشاره نمود. استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر کاهش سرعت وسایل نقلیه و درنتیجه کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در وقوع تصادفات و آثار ناشی از آن می‌گردد. بیشتر روش‌های کنترل سرعت، بر کنترل سرعت لحظه‌ای استوار می‌باشند. سیستم‌های کنترل سرعت لحظه‌ای، سرعت

خودرو را در یک لحظه ثبت می‌کنند و چنانچه بالاتر از یک حد مشخص باشد، راننده خودرو به عنوان متخلف شناخته شده و با وی برخورد می‌شود. یکی از مشکلات سیستم‌های کنترل سرعت لحظه‌ای این است که سرعت خودروهای عبوری، تنها در نقاط مشخصی از مسیر بررسی شده و رفتار رانندگان در تمام مسیر قابل‌بررسی نمی‌باشد. این خصیصه موجب می‌شود که رانندگان با رسیدن به دوربین‌های کنترل سرعت از سرعت خود کاسته و پس از عبور از مقابل دوربین‌ها سرعت خود را افزایش دهند. راه‌حل مناسب برای حذف این مشکل، استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت متوسط است. کنترل سرعت متوسط یا نقطه به نقطه، یک روش نسبتاً جدید برای کنترل سرعت می‌باشد. سیستم کنترل سرعت متوسط، سرعت متوسط خودرو را بین دو نقطه که در آن نقاط دوربین‌های کنترل سرعت نصب‌شده‌اند، محاسبه می‌نماید. سیستم کنترل سرعت متوسط به عنوان مکمل سیستم کنترل سرعت لحظه‌ای محسوب شده و نواقص موجود در این سیستم را مرتفع می‌سازد. هدف اصلی این تحقیق، اثرسنجی کاهش سرعت دوربین‌های کنترل سرعت متوسط وسایل نقلیه در راه‌های برون‌شهری است. به عبارت دیگر، در این پژوهش با استفاده از مدل‌های آماری آزمون فرض[1] و سری زمانی[2]، میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه نسبت به حالت بدون دوربین به دست آمده و تغییرات سرعت در پی نصب و راه‌اندازی دوربین‌های کنترل سرعت متوسط[3] بررسی شده است.

۲- پیشینه تحقیق

مدیریت سرعت شامل مجموعه‌ای از اقدامات باهدف برقراری توازن بین ایمنی و سرعت خودرو در یک شبکه جاده‌ای است. هدف از مدیریت سرعت، کاهش بروز رانندگی با سرعت بیش از حد و به حداکثر رسانی رعایت محدودیت‌های سرعت است. سرعت غیرمجاز یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع تصادف در محورهای برون‌شهری محسوب می‌شود. مطالعات انجام شده توسط چن و همکاران (Chen et al., 2000) بر روی یکی از شهرهای آمریکا نشان می‌دهد که سرعت غیرمجاز در ۳۷ درصد تصادفات فوتی، ۱۵ درصد تصادفات جرحی و ۹ درصد تصادفات خسارتی نقش عمده را داشته است. پژوهش‌ها و مطالعات انجام‌شده در مراکز تحقیقاتی حمل‌ونقل اتحادیه اروپا و سازمان ملل متحد نشان می‌دهد که عامل سرعت در افزایش یا کاهش ریسک تصادفات فوتی نقش عمده و کلیدی را دارد و با کنترل سرعت و اعمال سرعت بهینه تا ۸۵ درصد از تصادفات فوتی کاهش می‌یابد (Global Road Safety partnership, 2008). به طور کلی، استفاده از تکنولوژی دوربین‌های ثبت تخلف خودکار در افزایش قدرت پلیس برای اجرای قانون بسیار مفید ارزیابی شده است (Luoma et al., 2012). در تحقیقی که توسط محمودآبادی (۱۳۹۳) بر روی محورهای مواصلاتی استان خراسان رضوی انجام گردید بر اساس روش قبل و بعد مشخص گردید که سرعت کل وسایل نقلیه از ۸۶/۲ کیلومتر بر ساعت به ۸٤/۸ کیلومتر بر ساعت در قبل و بعد از نصب دوربین‌های کنترل سرعت کاهش پیداکرده است. در مطالعات انجام شده در شهر پوتراجایا در مالزی (Hamzah et al., 2013) مشخص گردید که در پی نصب سیستم دوربین‌های کنترل سرعت، حدود ۵۰ درصد رانندگان در نقاط مجهز به دوربین کنترل سرعت، سرعت خود را کاهش داده‌اند. در تحقیق مزبور مشخص گردید که تأثیر دوربین‌های ثبت تخلف خودکار به‌مرورزمان بیشتر می‌شود. در مطالعه مشابه دیگری در انگلستان (Utley, 2012) مشخص گردید که تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت به نسبت افزایش فاصله از محل نصب دوربین، کاهش می‌یابد. تحقیق مزبور نشان داد که دوربین‌ها تأثیر بیشتری در کاهش تصادفات در سرعت‌های بالا از خود نشان می‌دهند. ویلسون و همکارانش با بررسی نقش دوربین‌های کنترل سرعت در جلوگیری از صدمات و تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای، با تحلیل نتایج ۳۵ مطالعه قبلی در رابطه با نقش دوربین‌های کنترل سرعت در کاهش میانگین سرعت تردد و تصادفات جاده‌ای در نقاط مختلف جهان و مقایسه نتایج قبل و بعد از تجهیز راه‌ها به این سیستم، شاهد کاهش ۱ تا ۱۵ درصدی میانگین سرعت ثبت شده بودند (Wilson et al., 2010).

پیرو مطالعاتی در ایران، صفارزاده و همکاران (۱۳۹۱) ضمن ارائه روشی برای ارزیابی کارایی دوربین‌های کنترل سرعت نسبت به بررسی نقش دوربین‌های کنترل سرعت در محورهای برون‌شهری استان سمنان (مسیرهای سمنان به گرمسار و بالعکس و دامغان به سمنان و بالعکس) اقدام نمودند. تحقیق مذکور نشان داد که دوربین‌های کنترل سرعت در حالت بدون در نظر گرفتن تغییرات حجم ترافیک ۳ درصد کاهش در وقوع تصادفات و در حالتی که تغییرات حجم ترافیک در نظر گرفته شود ۹ ± ۳۳ درصد کاهش در وقوع تصادفات را نتیجه می‌دهند. میرحسینی و همکاران در مقاله‌ای به ارزیابی اقتصادی سامانه‌های کنترل سرعت متوسط از دیدگاه سرمایه‌گذاری در استان کرمان پرداخته است. نتایج

این تحقیق نشان می‌دهد نصب و راه‌اندازی سامانه‌های کنترل سرعت متوسط موجب کاهش ٦٨ درصدی در تصادفات فوتی، کاهش ٢٨ درصدی تصادفات جرحی و کاهش ٢٨ درصدی تصادفات خسارتی گردیده است (میرحسینی و همکاران، ١٣٩٣). استفاده از فناوری‌های پیشرفته در دوربین‌های کنترل سرعت معمولاً کارایی بسیار بالایی در کاهش تصادف و افزایش ایمنی دارد. مطالعه‌ای در کشور انگلستان بر روی داده‌های تصادف سه سال قبل و سه سال بعد از اجرای سیستم نقطه به نقطه کنترل سرعت نشان داده است که به‌طور متوسط، کل تصادفات ١٩ درصد کاهش داشته است. در این تحقیق، تصادفات منجر به فوت ٤٦ درصد و تصادفات با جراحات شدید ٣٧ درصد کاهش نشان داده است (Lynch et al., 2011). در کشور فرانسه در سال ٢٠٠٣، با راه‌اندازی فقط هزار دوربین راداری ثبت تخلفات سرعت ٣٠ درصد از کل تلفات جاده‌ای آن کشور کاسته شده است که در حال حاضر چندین هزار دوربین راداری ثبت تخلفات نسل سوم در جاده‌های فرانسه نصب شده است (WHO, 2013). در بررسی انجام شده به روش قبل و بعد بر روی اثر نصب دوربین‌های کنترل سرعت در سال‌های ٢٠٠٢ تا ٢٠٠٧ در بلژیک، مشاهده گردید که حدود ٨ درصد از تصادفات جرحی و ٢٩ درصد جراحات شدید کاهش یافته است (De Pauw et al., 2014). در مطالعات مشابه دیگری در انگلستان تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت در یک بازه ٢٠ ساله (١٩٩٠ تا ٢٠١٠) مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که دوربین‌های کنترل سرعت حدود ٣٠ درصد از انواع تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) را کاهش داده است (Utley, 2012).

٣- روش تحقیق

در این تحقیق با داشتن اطلاعات سرعت میانگین روزانه، تاثیر دوربین‌های سرعت متوسط در کاهش سرعت ارزیابی‌شده است. برای این ارزیابی ٩ محور به شرح جدول (١) در مناطق مختلف ایران انتخاب شده‌اند. برای اندازه‌گیری و تحلیل اثرسنجی از روش‌های آزمون فرض آماری و سری‌های زمانی استفاده شده است. محورهای مورد مطالعه در مقطع مورد بررسی دارای دوربین‌های کنترل سرعت متوسط بوده که اطلاعات و زمان نصب این دوربین‌ها از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای گرفته شده است.

٣-١- آزمون فرض آماری

به منظور اثر سنجی و تأثیرگذاری دوربین‌های سرعت متوسط راه‌های برون‌شهری بر کاهش سرعت خودروها، فرضیه آماری بدین شرح بیان می‌شود که سرعت متوسط خودروها بعد از نصب دوربین نسبت به سرعت متوسط قبل از نصب دوربین کاهش پیدا می‌کند. برای بررسی این فرضیه، یک محور دارای دوربین کنترل سرعت متوسط انتخاب شده و میانگین سرعت‌های متوسط ٦ ماه قبل از نصب و ٦ ماه بعد از نصب دوربین‌ها جمع‌آوری شده است. به منظور به دست آوردن نتیجه بهتر و دقیق‌تر، ٦ ماه انتخابی برای زمان‌های قبل و بعد یکسان می‌باشد، یعنی ماه‌های دی، بهمن و اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد قبل از نصب دوربین‌ها با همین ماه‌ها برای بعد از نصب دوربین‌ها انتخاب شده است. ادعا و نقیض ادعا یا همان فرض صفر و فرض یک به شرح زیر تعریف می‌شوند:

نقیض ادعا:

$$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2; H_0 : \mu_d = \mu_2 - \mu_1 \leq 0 \qquad (١)$$

ادعا:

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2; H_1 : \mu_d = \mu_2 - \mu_1 > 0 \qquad (٢)$$

در روابط بالا μ_1 میانگین سرعت متوسط قبل از نصب دوربین و μ_2 میانگین سرعت متوسط بعد از نصب دوربین و μ_d اختلاف بین μ_1 و μ_2 است. فرض H_0 نشان می‌دهد که نصب دوربین تأثیر معناداری بر روی میانگین سرعت متوسط ندارد و یا سرعت قبل از نصب دوربین در مقایسه با سرعت بعد از نصب کاهش معناداری پیدا نمی‌کند و H_1 بیانگر این است که سرعت متوسط بعد از نصب دوربین در مقایسه با سرعت متوسط قبل از نصب کاهش معناداری داشته است. پس H_0 که دارای علامت تساوی در نامعادله است نقیض ادعا و H_1 ادعا می‌باشد. بنابراین ادعا به صورت «سرعت متوسط بعد از نصب دوربین، کمتر از سرعت متوسط قبل از نصب دوربین است» می‌باشد. آزمون مقایسه زوجی (آزمون قبل و بعد) را با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام داده و نتایج حاصل از آن در این مطالعه ثبت شده است (آذر و مومنی، ١٣٩٥).

٣-٢- سری زمانی

شکل (١) مراحل انجام تحقیق را برای روش سری‌های زمانی نشان می‌دهد. سری زمانی، دنباله‌ای از مشاهدات به صورت $\{Y_t\}\, t \in T$ است که معمولاً بر حسب زمان، به ویژه در فواصل زمانی مساوی با نمونه‌های زمانی از ثانیه تا سال، مرتب می‌شوند. روش‌های توصیفی ساده برای تحلیل سری زمانی شامل رسم نمودار داده‌ها، جستجوی روند، تغییرات فصلی و غیره است.

یک روش معقول برای تحلیل سری‌ها، تجزیه آن به روند، تغییرات فصلی و سایر نوسانات نامنظم است. نظریه احتمال سری‌های زمانی بیشتر با سری‌های زمانی مانا سروکار دارد و به این دلیل است که در تحلیل سری‌های زمانی، برای استفاده از نظریه مانایی، لازم است که سری نامانا را به سری مانا تبدیل کنیم (بزرگ‌نیا و نیرومند، ١٣٨١).

مدل *ARMA* که آن را مدل باکس و جنیکس هم می‌گویند به مدلی گفته می‌شود که ترکیبی از p جمله اتورگرسیو و q جمله میانگین متحرک به صورت زیر است:

(٣)
$$X_t = \mu + \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_1 X_{t-2} + ... + \alpha_p X_{t-p} - \beta_1 Z_{t-1} - ... - \beta_q Z_{t-q}$$

کلاس مهمی از مدل‌های احتمال برای سری‌های نامانا را که تفاضلی مرتبه d ام آنها به یک فرآیند مانا از نوع ARMA(p,q)[٤] منجر می‌شود، فرآیندهای اتورگرسیو میانگین متحرک تفاضلی شده یا ARIMA(p,d,q)[٥] گویند. این فرآیند به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\varphi(B)\nabla^2 X_t = \mu + \theta(B) Z_t \qquad (٤)$$
$$\varphi(B) = 1 - \alpha_1 B - \alpha_2 B^2 - .... - \alpha_p B^p \qquad (٥)$$

در این روابط B عملگر پسرو تعریف شده است. در این پژوهش برای روش سری زمانی آمار روزانه سرعت میانگین خودروها برای ٩ محور گردآوری شده است. این سرعت‌ها از خرداد ١٣٩٣ تا خرداد ١٣٩٦ می‌باشد که بازه زمانی نصب و راه اندازی دوربین‌های کنترل سرعت متوسط را شامل می‌شود.

٤- نتایج

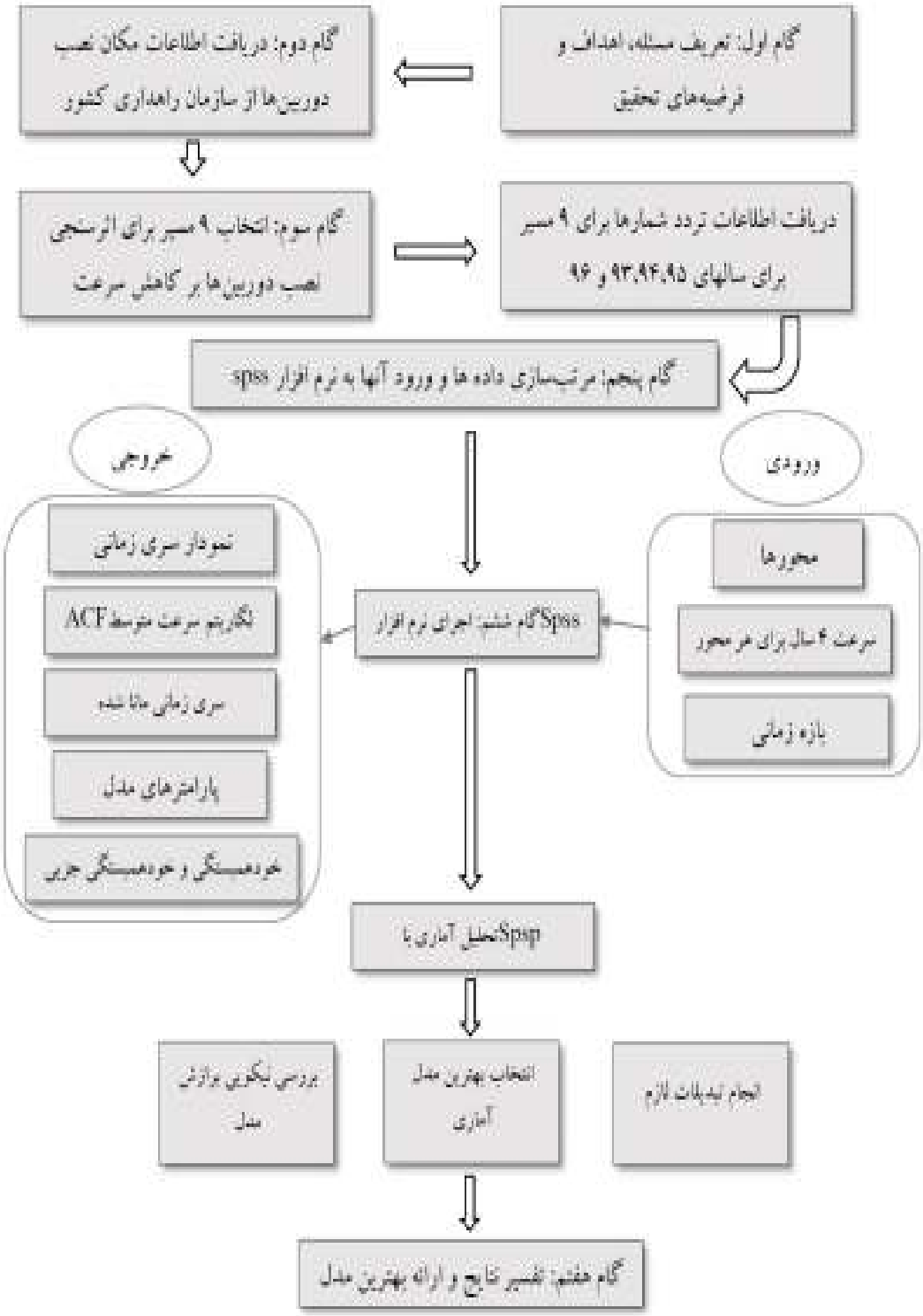
جدول (٢) میانگین سرعت متوسط خودروها برای ٩ محور را نشان می‌دهد. این داده‌ها مربوط به ٦ ماه قبل و ٦ ماه بعد از نصب دوربین‌های کنترل سرعت متوسط است. درصد کاهش سرعت نیز در این جدول آورده شده است.

جدول ١. محورهای انتخاب شده دارای دوربین سرعت متوسط

ردیف	نام محور	استان
١	آزادراه تهران – کرج (عوارضی قدیم)	تهران
٢	آزادراه تهران – قم (رستوران مهتاب)	قم
٣	راهجرد - سلفچگان	قم
٤	انتهای آزادراه قزوین - زنجان	قزوین
٥	رودبار - کوهین	قزوین
٦	آزادراه زنجان – تبریز (میانه - هشترود)	آذربایجان شرقی
٧	سه‌راهی شادمهر - تربت‌حیدریه	خراسان رضوی
٨	بردسکن - کاشمر	خراسان رضوی
٩	آزادراه پل زال (قلعه نصیر) - خرم‌آباد (دادآباد)	لرستان

٤-١- نتایج آزمون فوض

مشاهده می‌شود بیشترین درصد کاهش سرعت مربوط به محور بردسکن-کاشمر است. از اینرو، آزمون مقایسه زوجی به طور نمونه برای این محور شرح داده می‌شود. تاریخ نصب دوربین سرعت متوسط این محور ٢٠ شهریور ١٣٩٥ و تاریخ راه‌اندازی آن ١٣ آذر ١٣٩٥ بوده و برای این محور میانگین سرعت متوسط ٦ ماه قبل و ٦ ماه بعد از نصب دوربین به صورت جدول (٣) می‌باشد. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS وارد و نتایج در جدول‌های (٤) تا (٦) نشان داده شده است. در جدول (٤) معیارهای میانگین نمونه (mean)، تعداد نمونه (N)، انحراف میانگین نمونه (Std. Deviation) و انحراف معیار میانگین نمونه (Std. Error Mean) برای هر دو سری داده محاسبه شده است.



شکل ۱. روند انجام تحقیق برای روش سری زمانی

جدول ٢. میانگین سرعت متوسط و درصد کاهش سرعت برای ٩ محور

ردیف	نام محور	میانگین سرعت (کیلومتر بر ساعت)		کاهش سرعت (کیلومتربرساعت)	درصد کاهش سرعت	p-مقدار
		قبل از نصب دوربین	بعد از نصب دوربین			
١	بردسکن-کاشمر	٨٠,٧٧	٧٣,٤٥	٧,٣٢	٩ درصد	٠
٢	تهران-کرج	٩٩,٥١	٩١,١٠	٨,٤١	٨,٤ درصد	٠/٠٠٨
٣	پل زال-خرم آباد	٩٥,٨٩	٨٩,٤٩	٦,٤	٦,٧ درصد	٠/٠١٤
٤	رودبار - کوهین	٦٢,٥٠	٥٨,٦٣	٣,٨٧	٦,٢ درصد	٠/٠١٩
٥	راهجرد - سلفچگان	٩٤,٤٥	٨٩,٢٢	٥,٢٣	٥,٥ درصد	٠/٠٠٤
٦	شادمهر- تربت‌حیدریه	٧٥,١٨	٧٢,٢٠	٢,٩٨	٣,٩ درصد	٠/٠٠٦
٧	قزوین - زنجان	٩٦,٦٩	٩٣,١٢	٣,٥٧	٣,٧ درصد	٠/٢١٣
٨	میانه – هشترود	٨١,٥٨	٧٩,٣٥	٢,٢٣	٢,٧ درصد	٠/٢٢٥
٩	تهران - قم	١١١,٥٤	١١٠,١٦	١,٣٨	١,٢ درصد	٠/٢٦٦

جدول ٣. میانگین سرعت متوسط قبل و بعد از نصب دوربین در محور بردسکن-کاشمر

ماه	سرعت قبل از نصب دوربین	ماه	سرعت بعد از نصب دوربین
دی ٩٤	٨٢/٤٧	دی ٩٥	٧٤/٣٥
بهمن ٩٤	٨١/٧٩	بهمن ٩٥	٧٢/٣١
اسفند ٩٤	٨٠/٦٣	اسفند ٩٥	٧٤/٦٣
فروردین ٩٥	٨١/٢٣	فروردین ٩٦	٧٣/٥٤
اردیبهشت ٩٥	٧٩/٥٠	اردیبهشت ٩٦	٧٣/٠٣
خرداد ٩٥	٧٩/٠٢	خرداد ٩٦	٧٢/٨٤

جدول ٤. مقایسه معیارهای میانگین سرعت و انحراف معیار محور بردسکن-کاشمر

آماره‌های نمونه‌های زوجی					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	قبل (بردسکن-کاشمر)	80.773	6	1.32943	.54274
	بعد (بردسکن-کاشمر)	73.450	6	.90096	.36781

با توجه به جدول (٤) مشخص است که میانگین سرعت متوسط خودروها قبل از نصب دوربین، بیشتر از میانگین سرعت متوسط خودروها بعد از نصب آنها است. در جدول (٥) ضریب همبستگی بین دو سری داده نشان داده شده است. ضریب همبستگی برابر ٠/٣٠ می‌باشد و با توجه به p-مقدار که برابر ٠/٥٥ است فرض استقلال سرعت متوسط در دو مقطع قبل و بعد قبول می‌شود.

جدول ٥. ضریب همبستگی سرعت متوسط قبل و بعد از نصب دوربین در محور بردسکن-کاشمر

همبستگی نمونه‌های زوجی				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	قبل (بردسکن-کاشمر) & بعد (بردسکن-کاشمر)	6	.308	.553

آزمون اصلی زوجی در جدول (٦) نشان داده شده که حاوی اطلاعاتی نظیر میانگین تفاضل‌های دو سری از داده، فاصله اطمینان ٩٥ درصدی برای μ_d، آماره آزمون t، درجه آزادی آماره آزمون (df) و p-مقدار برای آزمون دوطرفه می‌باشد.

جدول ٦. آزمون زوجی محور بردسکن-کاشمر

آزمون نمونه‌های زوجی									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	قبل-بعد (بردسکن-کاشمر)	7.32333	1.35698	.55398	5.89927	8.74739	13.219	5	.000

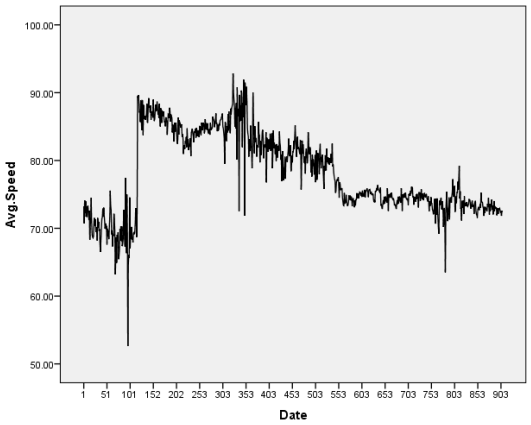
با توجه به جدول (٦) p-مقدار برای این محور کمتر از ۰/۰۵ بوده و مساوی صفر است، در نتیجه فرض H_0 رد می‌شود. این بدان معنی است که سرعت متوسط بعد از نصب دوربین نسبت به سرعت متوسط قبل از نصب دوربین کاهش معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشته است. این نتیجه را از اعداد lower CL و upper CL نیز می‌توان استنباط کرد، زیرا هر دو مثبت و $\mu_1 > \mu_2$ بوده و درنهایت ادعا درست می‌باشد.

٤-٢- نتایج تحلیل سری زمانی

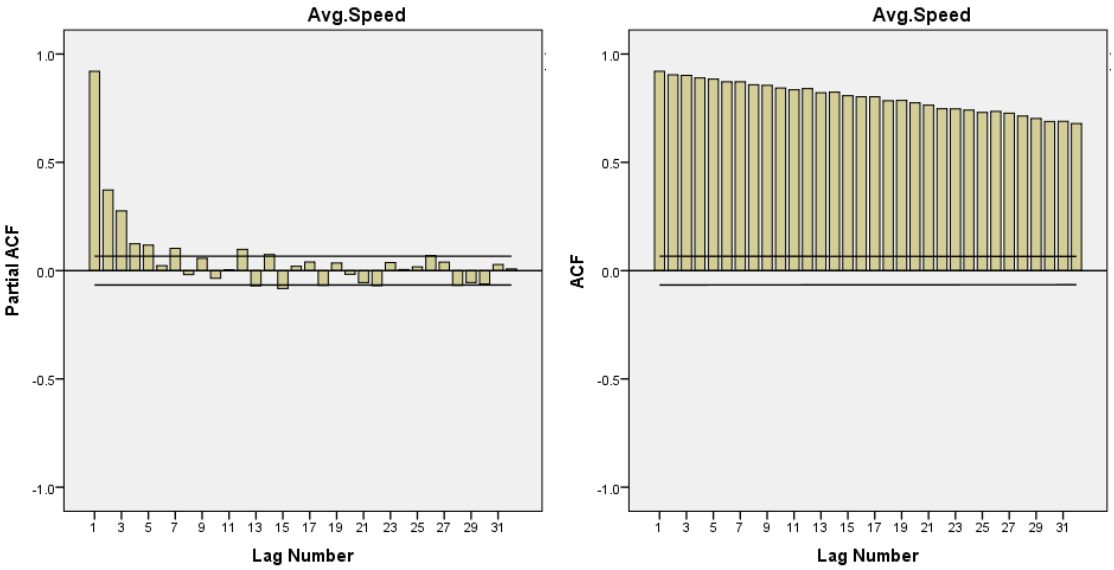
در این بخش نتایج تحلیل سری زمانی برای محور نمونه بردسکن-کاشمر ارائه شده است. اولین گام برای تحلیل توصیفی یک سری زمانی رسم نمودار آن است. نمودار سری زمانی به شناسایی روندها، نامانایی در میانگین و واریانس، فصلی بودن و شناسایی داده‌های پرت کمک شایانی می‌کند، بدین منظور ابتدا سرعت متوسط روزانه را از تاریخ ۱ خرداد ۱۳۹۳ تا تاریخ ۳۱ خرداد ۱۳۹٦ در نرم‌افزار SPSS وارد کرده و نمودار سری زمانی آن به صورت شکل (۲) ترسیم می‌شود. با توجه به نمودار شکل (۲) مشخص است که این سری زمانی در میانگین و واریانس مانا نمی‌باشد. برای مانا کردن سری از نظر واریانس باید از داده‌های تبدیل‌شده x_t استفاده نمود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_t = \log v_t \qquad (٦)$$

در این رابطه x_t داده تبدیل یافته و v_t سرعت متوسط است. مشاهده می‌شود که این سری هنوز در میانگین نامانا بوده زیرا بر اساس زمان دارای روند غیرثابت است. نمودار ACF[٦] و PACF[٧] آن در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به این که نمودار ACF به کندی به سمت صفر میل می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت نامانایی در میانگین وجود دارد که با تفاضل‌گیری برطرف خواهد شد. شکل (٤) نمودار دنباله‌ای سری با یک بار تفاضل‌گیری شده را نشان می‌دهد. از شکل کاملاً مشخص است که مانایی در میانگین سری کاملاً محقق شده است. در مرحله بعد باید مدل مناسب را تشخیص داد که با استفاده از نرم‌افزار SPSS این کار انجام می‌گیرد. مدل پیشنهادی برای این محور و داده‌های x_t و داده‌های x_t به صورت ARIMA(1,1,12) است که یک فرآیند اتورگرسیو-میانگین متحرک تفاضلی شده است. در این مدل p، d و q اعداد حقیقی غیرمنفی هستند که درجه اتورگرسیو (AR)، تفاضل‌گیری (I) و میانگین متحرک (MA) را معلوم می‌کنند که در اینجا مرتبه اتورگرسیو p=1، مرتبه تفاضل‌گیری d=1 و مرتبه میانگین متحرک q=12 می‌باشد. درجه تفاضل‌گیری برای مانا کردن سری در میانگین استفاده شده است. پارامترهای مدل توسط نرم‌افزار برآورد و در جدول (۷) نشان داده شده است.

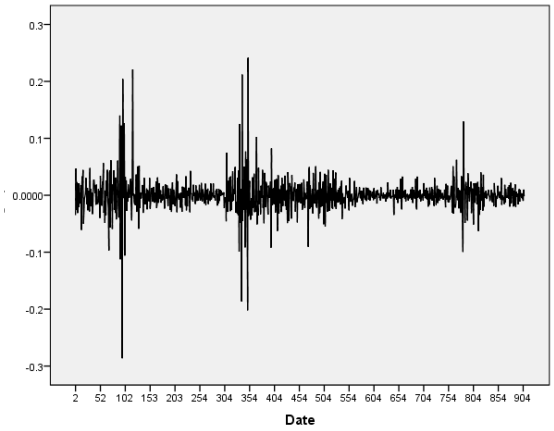


شکل ۲. نمودار سری زمانی سرعت متوسط محور بردسکن-کاشمر



الف) نمودار ACF لگاریتم سرعت متوسط محور **ب) نمودار PACF لگاریتم سرعت متوسط محور**

شکل ۳. نمودارهای ACF و PACF لگاریتم سرعت متوسط محور بردسکن-کاشمر



شکل ٤. نمودار سری زمانی مانا شده در میانگین محور بردسکن-کاشمر

جدول ۷. پارامترهای مدل برازش داده شده در محور بردسکن-کاشمر

Sig.	t	SE	Estimate		
۰/۰۰۰	-۱۸/٤۷٦	۰/۰۳۱	-۰/۵۷۷	Lag1	AR
			۱	Difference	
۰/۰۰۰	۱۳/۲۹٤	۰/۰۳٤	۰/٤٤۹	Lag2	MA
۰/۰۰۱	-۳/٤٤۹	۰/۰۳۰	-۰/۱۰۳	Lag12	

ستون .Sig در جدول (۷) همان p-مقدار است که اگر این مقدار کمتر از ۰/۰۵باشد به معنای این است که پارامتر در مدل معنی‌دار بوده و مخالف صفر است و اگر بیشتر از ۰/۰۵ باشد یعنی پارامتر معنی‌دار نیست و نیازی ندارد در آن سطح معنی‌داری در مدل باشد. برای ضریب مدل AR p-مقدار برابر صفر و نشان‌دهنده معنی‌دار بودن آن است و این ضریب در مدل وجود دارد. همچنین برای MA نیز p-مقدار در دو تأخیر، کمتر از ۰/۰۵ است که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن این دو پارامتر در مدل است.

در این مدل تمام ضرایب معنی‌دار بوده و مدل به صورت زیر نوشته می‌شود:

(۷)

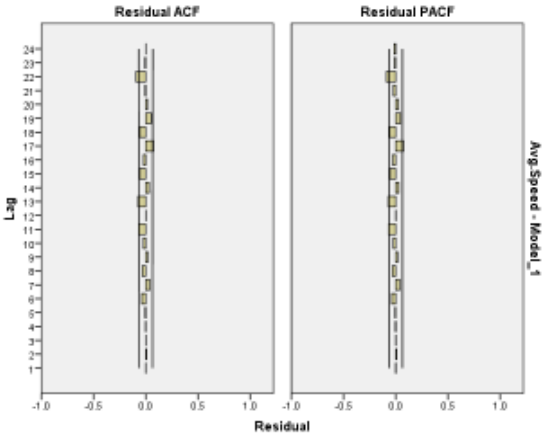
$$w_t = -0.577w_{t-2} + z_t - 0.449\, z_{t-2} + 0.103\, z_{t-۱۲}$$

(۸)

$$w_t = x_t - x_{t-1} \quad \text{یا} \quad w_t = \log\frac{Vt}{Vt-1}$$

با توجه به مدل، ضریب AR برابر ۰/۵۷۷- و ضریب MA برای تأخیر ۲ برابر ۰/٤٤۹ و برای تأخیر ۱۲ برابر ۰/۱۰۳- می‌باشد. برای نیکویی برازش مدل نیاز به تجزیه و تحلیل مانده‌های مدل داریم. بدین منظور، برای بررسی استقلال یا تصادفی بودن مانده‌ها می‌توان از نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مانده‌ها کمک گرفت که مانده‌های مدل به صورت تفاضل مقدار واقعی سری و مقدار برازش داده شده سری محاسبه می‌شود. چنانچه مقادیر خودهمبستگی و

خودهمبستگی جزئی سری از حدود اطمینان خارج نشود می‌توان استقلال مانده‌ها را پذیرفت. در شکل (٥) دیده می‌شود که مقادیر خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مانده‌ها در تأخیرهای پایین همگی داخل باند اطمینان بوده که نشان دهنده مطلوبیت مدل برازش داده شده است.



شکل ٥. نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مانده‌ها در محور بردسکن-کاشمر

در ادامه، معیارهای R^2 (R-squared) و معیار اطلاعات بیز استاندارد شده (Normalized BIC)[٨] که در جهت انتخاب مدل‌های پیشنهادی استفاده می‌شود، به دست آمده و به صورت جدول (٨) نشان داده می‌شود.

جدول ٨. معیارهای انتخاب مدل برازش شده

معیارها	R-squared	Normalized BIC
مقادیر	٠/٨٨٦	١/٤٤٣

معیار R^2 عددی بین ٠ و ١ است و این مقدار باید بین مدل‌های مختلف پیشنهادی مقایسه شود. مدلی که R^2 آن به عدد ١ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده این است که در مدل برازش داده‌شده، داده‌ها بهتر عمل می‌نمایند که با توجه به نتایج به دست آمده R^2 برابر ٠/٨٨٦ می‌باشد. معیار اطلاعات بیز استانداردشده نیز معیاری است که مقدار آن هرچه در مدل کمتر باشد نشان‌دهنده مدل بهتر است که با توجه به نتایج مقدار ١/٤٤٣ برای این مدل به دست آمده است.

٤-٣- الگوبندی نمودارهای سری زمانی

با توجه به شکل و افت‌وخیز نمودارهای سری زمانی، محورهای مورد مطالعه به سه نوع الگو دسته‌بندی شدند:

- **الگوی A**: کاهش سرعت متوسط به صورت کاملاً محسوس در زمان نصب و راه‌اندازی دوربین‌ها دیده می‌شود. این تغییرات به صورت یکباره و پله‌ای دیده می‌شود.
- **الگوی B**: تغییرات کمی در کاهش سرعت متوسط احساس می‌شود.
- **الگوی C**: کاهش سرعت متوسط ناشی از نصب دوربین‌ها دیده نمی‌شود.

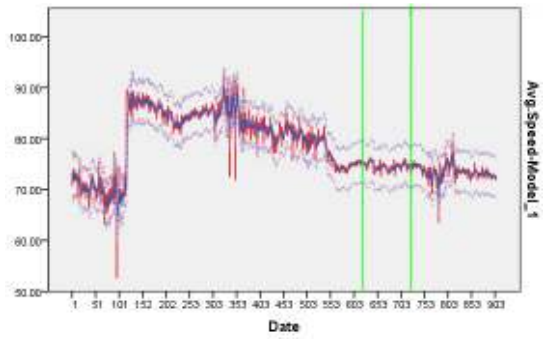
یادآور می‌گردد که منظور از تاریخ نصب، تاریخی است که تمام تجهیزات دوربین های کنترل سرعت متوسط شامل پایه‌ها و تیر افقی، دوربین‌ها و محفظه اصلی به طور کامل نصب شده است. در بعضی محورها فاصله نصب اجزا و قطعات دوربین‌ها تا نصب کامل با هم متفاوت بوده است. نتایج مربوط به الگوبندی محورهای مطالعه در جدول (٩) و تصویر نمودار سری زمانی متناظر آنها در شکل (٦) نشان داده شده است. خطوط عمودی در نمودارهای سری زمانی دو تاریخ نصب و راه‌اندازی دوربین را نشان می‌دهد.

٥- نتیجه‌گیری

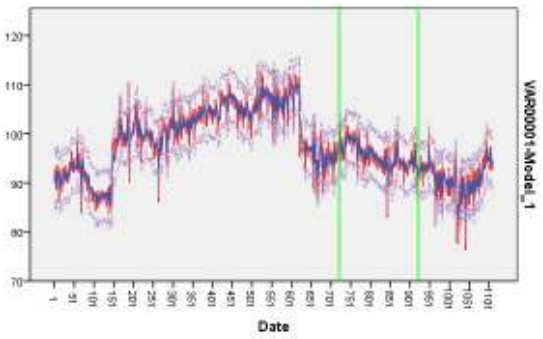
در این پژوهش با استفاده از مدل‌های آماری آزمون فرض و سری زمانی، میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه نسبت به حالت بدون دوربین به دست آمده و تغییرات سرعت در پی نصب و راه‌اندازی دوربین‌های کنترل سرعت متوسط بررسی شده است. به طور کلی، میانگین سرعت خودروها قبل از نصب دوربین‌ها برابر ٨٩/٦٦ کیلومتر بر ساعت و بعد از نصب دوربین‌ها برابر ٨٤/٠٨ کیلومتر بر ساعت بوده است که کاهش ٥/٥٨ کیلومتر بر ساعت را نشان می‌دهد. میانگین درصد کاهش سرعت متوسط نیز برابر ٥/٢٥ درصد بوده که میزان قابل قبولی را نشان می‌دهد. طبق خروجی‌های آزمون فرض در سطح اطمینان ٩٥ درصدی، در ٦ محور از ٩ محور موردبررسی، سرعت متوسط وسایل نقلیه کاهش معناداری پیداکرده است. این نتیجه بدان معنی نیست که در بقیه محورها کاهشی وجود نداشته بلکه کاهش سرعت به میزان قابل‌توجهی نبوده است.

جدول ۹. الگوبندی نمودارهای سری زمانی در محورهای مورد مطالعه

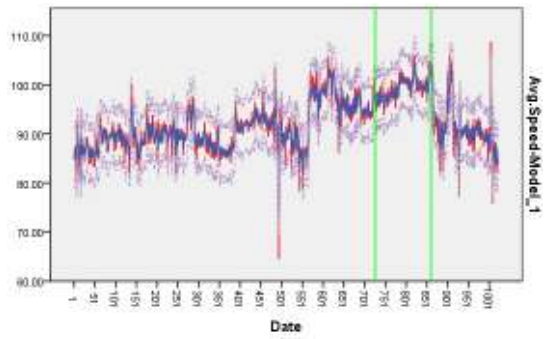
ردیف	محور	الگوی سری زمانی	شرح الگوی سری زمانی
١	بردسکن-کاشمر	A	- نمودار از یک مقطع زمانی به بعد، تقریبا سیر یکنواختی داشته است. - قبل از تاریخ نصب کامل دوربین ها، شکل نمودار افت ناگهانی داشته و نشان دهنده تاثیر روانی نصب تجهیزات ناقص و یا بدون دوربین پایه ها بر روی رفتار رانندگان می باشد. - تاریخ راه اندازی دوربین ها، تاثیر زیادی روی رفتار رانندگان از نظر سرعت نداشته است. زیرا رانندگان با دیدن پایه های دوربین ها (تاریخ راه اندازی و قبل از آن) احتیاط بیشتری کرده‌اند و از طرفی هم تاریخ راه‌اندازی برای آنها اعلام نشده. - قبل از تاریخ نصب دوربین ها، سیر نمودار غیر یکنواخت و فراز و نشیب های زیادی داشته است.
٢	تهران-کرج	A	- کاهش سرعت متوسط به صورت پله ای، قبل از نصب کامل دوربین ها قابل مشاهده است. - بعد از راه اندازی دوربین ها هم سیر نزولی سرعت متوسط همچنان ادامه داشته است.
٣	پل زال-خرم‌آباد	C	- فراز و نشیب های نمودار بسیار نامنظم است. - روند سرعت متوسط در زمان نصب دوربین ها و قبل از آن تغییر محسوسی نداشته است اما بعد از راه اندازی تغییراتی دیده می شود.
٤	رودبار - کوهین	B	- قبل از نصب کامل دوربین ها کاهش سرعت متوسط دیده می شود. - میزان کاهش سرعت متوسط به میزان کمی اتفاق افتاده است.
٥	راهجرد–سلفچگان	B	- کاهش تدریجی سرعت متوسط، قبل از نصب کامل دوربین ها اتفاق افتاده و بعد از مدتی ثابت شده است. - مقدار نوسانات شدید سرعت متوسط بعد از نصب دوربین ها کاسته شده است.
٦	شادمهر–تربت‌حیدریه	C	- بعد از نصب و راه اندازی دوربین ها تغییر خاصی بر روی روند سرعت متوسط خودروها ایجاد نشده و نمودار تقریبا با همان الگوی قبلی سیر خود را ادامه داده است.
٧	قزوین - زنجان	A	- قبل از نصب کامل دوربین ها بر روی محورها، دوربین ها تاثیر خود را در کاهش سرعت متوسط نشان داده‌اند. - کاهش سرعت متوسط به صورت پله ای و یکباره بوده است. - بازه نوسانات سرعت، بعد از نصب دوربین ها کاهش پیدا نموده است.
٨	میانه – هشترود	C	- دوربین ها تاثیر محسوسی بر روی سرعت متوسط خودروها نداشته و روند آن تغییری نکرده است.
٩	تهران - قم	B	- بعد از نصب دوربین ها، سرعت متوسط نوسان یکنواخت تری داشته و از فراز و نشیب های شدید کاسته شده. - کاهش سرعت متوسط به میزان بسیار کمی قابل مشاهده است.



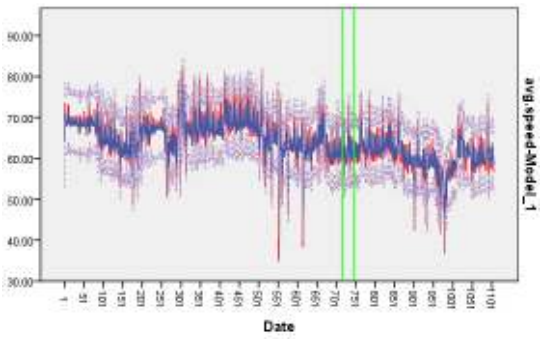
الف) محور بردسکن-کاشمر



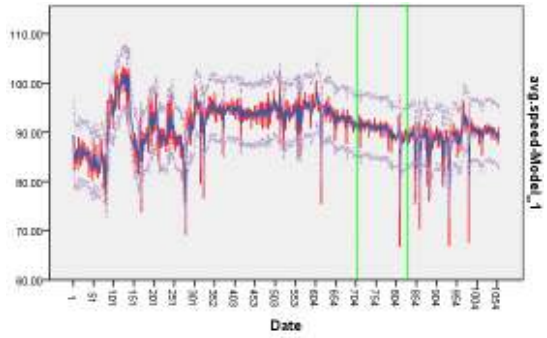
ب) محور تهران-کرج



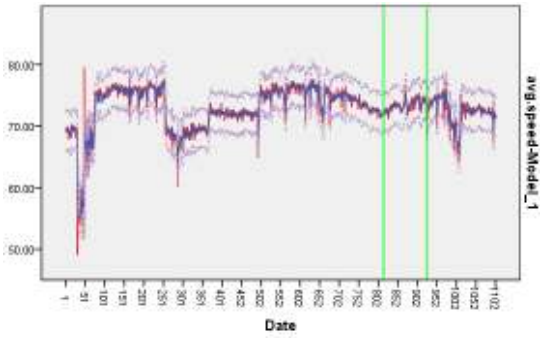
پ) محور پل زال-خرم‌آباد



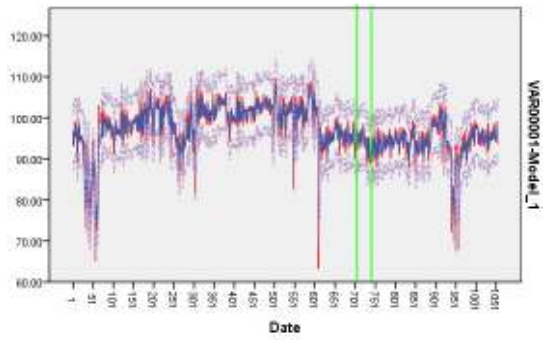
ت) محور رودبار-کوهین



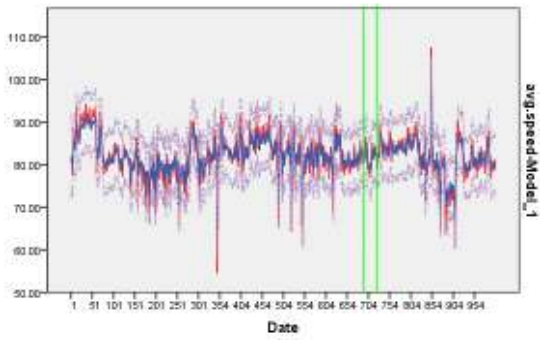
ث) محور راهجرد-سلفچگان



ج) محور شادمهر- تربت‌حیدریه

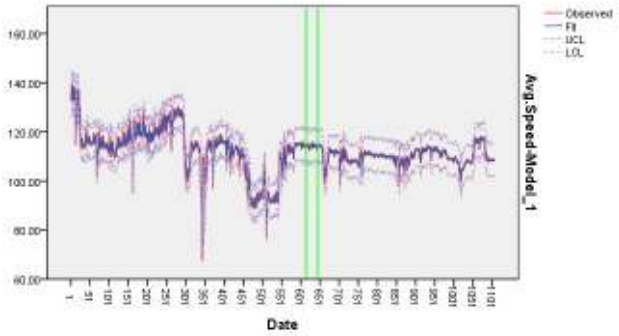


چ) محور قزوین-زنجان



ح) محور میانه-هشترود

شکل ٦. نمودارهای سری زمانی و تغییرات سرعت با توجه به تاریخ نصب و راه‌اندازی دوربین‌های سرعت متوسط



خ) محور تهران-قم

شکل ٦ (ادامه). نمودارهای سری زمانی و تغییرات سرعت با توجه به تاریخ نصب و راه‌اندازی دوربین‌های سرعت متوسط

به طور کلی، تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت متوسط در کاهش سرعت خودروها در مسیرهایی که حجم تردد کمتری داشته‌اند، نسبت به مسیرهای پرتردد بیشتر بوده است. محور تهران-کرج طبق این پژوهش از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. به عبارت دیگر، با این که این محور حجم تردد بسیار بالایی داشته، اما نصب دوربین‌های کنترل سرعت متوسط تأثیر زیادی بر روی کاهش سرعت داشته است. همچنین، مشاهده شده است که آغاز عملیات نصب سامانه‌های کنترل سرعت بر روی رفتار رانندگان تأثیر داشته و موجب کاهش سرعت وسایل نقلیه شده است.

به منظور اثربخشی هر چه بهتر تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت متوسط، توصیه می‌شود آمار دقیق‌تری از تعداد و مکان تابلوهای هشداردهنده کنترل سرعت و ثبت تخلف جمع‌آوری شود و تا حد امکان این هشدارها و اطلاع‌رسانی‌ها، به روش‌های گوناگون، از سوی سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای به صورت پررنگ‌تر و ملموس‌تر انجام گیرد. می‌توان تأثیر اطلاع‌رسانی دقیق در نصب دوربین‌های کنترل سرعت متوسط، نسبت به اطلاع‌رسانی ضعیف در کاهش سرعت خودروها را در یک پژوهش جداگانه مورد ارزیابی قرار داد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Hypothesis Testing
2. Time Series
3. Average Speed Camera
4. Autoregressive Moving Average
5. Autoregressive Integrated Moving verage
6. Auto Correlation Function
7. Partial Auto Correlation Function
8. Bayesian Information Criterion

٧- مراجع

-آذر، ع. و مؤمنی، م.، (١٣٩٥)، "آمار و کاربرد آن در مدیریت" (چاپ بیستم)، انتشارات سمت.

-بزرگ‌نیا ا. و نیرومند، ح.، (١٣٨١)، "سری‌های زمانی" (چاپ پنجم)، انتشارات دانشگاه پیام نور.

-صفارزاده، م. و سید ابریشمی، ا. و خسروی، ه.، (١٣٩١)، "روشی برای ارزیابی کارایی دوربین‌های کنترل سرعت محورهای برون‌شهری (مطالعه موردی محورهای استان سمنان)"،دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ایران.

-محمودآبادی، م.، (١٣٩٣)، "ارزیابی تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت هوشمند بر کاهش سرعت (مطالعه موردی محورهای استان خراسان رضوی)"، نخستین همایش سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای، تهران، ایران.

-میرحسینی، م. و عبداللهی، م. و جمیلی، م.، (١٣٩٣)، "ارزیابی اقتصادی سامانه‌های کنترل سرعت متوسط از دیدگاه سرمایه‌گذاری -مطالعه موردی استان کرمان"، نخستین همایش سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، تهران، ایران.

-Chen, G., Wilson, J., Meckle, W., & Cooper, P., (2000), "Evaluation of photo radar program in British Columbia",

- Lynch, M., White, M., & Napier, R., (2011), "Investigation into the use of point-to-point speed cameras (No. 465)".

- Shinar, D., (2017), "traffic safety and human bahavior (second), Emerald Publishing".

- Utley, T. K., (2012), "The effect of speed cameras on the incidence of road Traffic Accident", 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference, lmperial College, London.

- Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., Le Brocque, R., & Bellamy, N., (2010), "Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths", Cochrane database of systematic reviews, (11).

- World Health Organization. Violence, Injury Prevention, & World Health Organization, (2013), "Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action", World Health Organization.

Accident Analysis & Prevention, 32(4), pp.517-526.

- De Pauw, E., Daniels, S., Brijs, T., Hermans, E., & Wets, G., (2014), "An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras", Safety science, 62, pp.168-174.

- Global Road Safety Partnership, (2008), "Speed Management. World Health Organization".

- Hamzah, M. K., NG, C. P., Khairuddin, F. H., & Yusof, M. A., (2013), "The Automated Speed Enforcement System—A Case Study in Putrajaya", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 10, pp.2133-2146.

- Luoma, J., Rajamäki, R., & Malmivuo, M. (2012), "Effects of reduced threshold of automated speed enforcement on speed and safety", Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 15(3), pp.243-248.

Evaluating the Speed Reduction by Installing Average Speed Cameras in Rural Multi-lane Roads

Mehdi Heydari, M.Sc., Grad., Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
Hamid Reza Behnood, Assistant Professor, Highways and Transportation, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
Arezou Hajrajabi, Assistant Professor, Statistics, Faculty of Basic Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

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

Received: July 2021-Accepted: August 2021

ABSTRACT
One of the problems with the instantaneous speed control systems is that the speed of passing cars is only checked at certain points of the track and drivers' behavior is not at all possible. The main objective of this research is to evaluate the effect of speed reduction by installing average speed cameras in rural roads. In this study, using the statistical models of the hypothesis testing and the time series, the rate of vehicle speed decrease was compared to the non-camera mode and the speed changes after installing and setting up average speed cameras have been investigated. The studied roadways have average speed cameras, and the information and timing of these cameras have been received from the Road Maintenance and Transportation Organization. In general, the average speed of vehicles before the installation of cameras was 89.66 kilometer per hour and after the installation of cameras was 84.08, which shows a decrease of 58.5 kilometer per hour. The mean percentage of average reduction was 25.5 percent which indicates an acceptable level. According to the results of the test, at the 95 percent confidence level, in the six axes of the nine axes examined, the average vehicle speed decreased significantly. This does not mean that there were no decreases in other axes, but that speed was not significantly reduced. On the whole, the effect of average speed cameras on vehicle speed reduction on roadways with lower traffic volume was higher than that of high-volume roads.

Keywords: Average speed camera, Speed reduction, Hypothesis testing, Time series.