

بررسی تأثیر دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در ایمنی شبکه جاده‌ای به کمک روش سری زمانی (مطالعه موردی: آزادراه تبریز- زنجان)

علمی - پژوهشی

وحید تقی‌زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

امیرمسعود رحیمی*، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

نوید افکار، دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۱۳۴-۱۲۱

چکیده

با توسعه سریع سیستم‌های آزادراهی و بزرگراهی، مسأله ایمنی ترافیک به دلیل افزایش سرعت خودروها موجب نگرانی مردم و سیاست‌گذاران عرصه حمل‌ونقل شده است. محدودیت سرعت به‌عنوان یکی از متداول‌ترین شیوه‌های مدیریت راه‌ها در زمینه ایمنی، نقشی مؤثر را در حفظ ایمنی مسافران ایفا می‌کند. بنابراین مطالعه در مورد اثرات کنترل ترافیک با اعمال محدودیت سرعت بر روی جاده‌ها (مخصوصاً آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها)، از نظر علمی برای اطمینان از ایمنی مسافران و کارایی عملکردی قابل توجه است. در این پژوهش در قالب یک مطالعه قبل و بعد، ابتدا با استفاده از روش سری زمانی، پیش‌بینی تصادفات جاده‌ای مسیر آزادراهی محور تبریز - زنجان در سال طرح (سال حضور دوربین‌ها در مسیر) انجام پذیرفت، پس از آن با مقایسه نتایج به دست آمده از آن‌ها با داده‌های موجود، به میزان تأثیر دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در کاهش مخاطرات این محور و بهبود ایمنی پرداخته شد. پیش از فرآیند مدل‌سازی، عملیات گردآوری، ثبت، چارچوب‌سازی و نرمال کردن داده‌ها توسط نرم‌افزار Excel و جهت ساخت مدل سری زمانی نیز، از نرم‌افزار IBM SPSS استفاده شد. استفاده از سری زمانی علاوه بر پیش‌بینی بر اساس داده‌های برداشت شده، ترتیب زمانی و فصلی داده‌ها را نیز در نظر می‌گیرد که به پیش‌بینی دقیق تری منجر می‌شود. پس از مقایسه داده‌های سال طرح (داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده) و بررسی تأثیر دوربین‌ها در محور آزادراه برون‌شهری تبریز-زنجان، تعداد تصادفات فوتی تا ۷۶ درصد کاهش یافت. تأثیرگذاری وجود دوربین‌های کنترل سرعت در کاهش تعداد تصادفات مقدار ۵ درصد بود و متأسفانه تأثیر مثبتی بر روی تعداد مجروحین نداشت و در بازه مورد مطالعه مجروحین در این سال ۳۸ درصد رشد را نشان می‌دهد. با بررسی داده‌های موجود از سال‌های پایه اول لغایت سال افق پیش‌رو مشاهده گردید که ارتقا ایمنی جاده‌ها با افزودن طرح‌های مناسب امکان‌پذیر بوده و دوربین‌های کنترل سرعت در این محور عملکرد قابل قبولی را در جهت مدیریت ایمنی بجا گذاشته و هر سه پارامتر تعداد تصادفات، تعداد متوفیان و تعداد مجروحین، یک روند کاهشی داشتند.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، پیشگیری، تلفات جاده‌ای، دوربین کنترل سرعت، سری‌های زمانی

۱- مقدمه

۲۹۲ نفر می‌باشد. تعداد مصدومین ناشی از تصادفات رانندگی برای این دو استان نیز به ترتیب، ۱۵۶۴۴ نفر سهم استان آذربایجان شرقی و ۵۷۹۴ نفر برای استان زنجان گزارش شده است. همچنین طبق آمار سازمان پزشکی قانونی و سالنامه آماری سازمان راهداری حمل‌ونقل جاده‌ای در سال

طبق آمار سازمان پزشکی قانونی تعداد ۱۶۷۷۸ در سال ۱۴۰۰ در تصادفات جاده‌ای در کل کشور فوت شده‌اند و تعداد ۳۱۷۱۲۰ نفر نیز مجروح گردیده‌اند که از میان سهم استان آذربایجان شرقی و استان زنجان از میزان متوفیان ناشی از تصادفات رانندگی برون‌شهری در سال ۱۴۰۰ به ترتیب، ۸۵۵

با توسعه شبکه جاده‌ای، کنترل ترافیک بزرگراه‌ها و خیابان‌های شلوغ در شهرها به معضلی بزرگ تبدیل شده است که برای حل مشکل سرعت غیرمجاز و کاهش میزان تصادفات و همچنین کاهش تلفات جانی در تصادفات راهکارهای متنوعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به سیستم کنترل سرعت هوشمند، تابلوهای سرعت متغیر (VSL) و تابلوهای پیام‌نمای متغیر (VMS) / CMS اشاره نمود که در حال حاضر یکی از مهم‌ترین و به‌روزترین آن‌ها استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت است (Soriguera, Martínez, Sala, & Menéndez, 2017). مراکز معتبر جهانی تأکید می‌نمایند، توفیق در "کاهش پایدار تصادفات"، منوط به انتخاب سیستم‌ها بر اساس "روش‌های علمی تجربه‌شده" در مجموعه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند است (H. Li, Zhang, & Ren, 2020). امروزه کنترل ترافیک بزرگراه‌ها و خیابان‌ها در اکثر شهرهای بزرگ از طریق سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) صورت می‌گیرد. استفاده از چنین سیستم‌هایی علاوه بر اصلاح الگوی زمان سفر، باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین کاهش آمار تصادفات و تلفات ناشی از سوانح رانندگی می‌شود (WHO, 2010). دوربین‌های نظارتی در سالیان اخیر به کمک انسان‌ها آمده‌اند و در نقاطی که قادر به کنترل مداوم یا موردی نیستند، ابزار بسیار مفیدی در حفاظت و کنترل رویدادها می‌باشند. بزرگراه‌ها، آزادراه‌ها و سایر راه‌ها می‌توانند بستری برای پذیرش این دوربین‌ها باشند تا از وقوع سوانح و تصادفات، پیشگیری نمایند. بنابراین یکی از ابزارهای مهم در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند دوربین‌های کنترل سرعت هستند که با ثبت تخلفات، باعث ارتقای سطح ایمنی ترافیک در جاده‌ها و کاهش میانگین سرعت وسایل نقلیه می‌شوند. وفق تحقیقات معتبر جهانی، عامل اصلی حداقل یک سوم از کل تصادفات رانندگی، سرعت غیرمجاز بوده (Abdel-Aty & Abdelwahab, 2000)، و یا به تعبیر دیگر، بیشترین عامل در حوادث ترافیکی شدید، رعایت نکردن سرعت مجاز است. همچنین به‌طور میانگین عامل اصلی ۸۵ درصد از تصادفات مرگبار جاده‌ای کشورها نیز، سرعت‌های غیرمجاز است (Vahabzadeh, 1387). با افزایش سرعت، ریسک ایجاد تصادفات منجر به جرح و مرگ به‌صورت نمایی (غیرخطی) افزایش می‌یابد (Transport & Centre, 2006). شکل ۱ نمایی بودن رابطه تغییرات سرعت میانگین ترافیک و تصادفات مرگبار جاده‌ای را نشان می‌دهد.

۱۳۹۷، تعداد تصادفات برون‌شهری برای کل کشور ۱۵۱۸۴۰ فقره بوده، که از این بین تعداد کل مصدومین و متوفیان به ترتیب برابر با ۳۶۷۴۴۰ و ۱۷۱۸۳ نفر بودند. همه این مقادیر نسبت به سال ۱۳۹۶ افزایش را به همراه داشتند. سهم استان آذربایجان شرقی و استان زنجان از میزان متوفیان ناشی از تصادفات رانندگی برون‌شهری در سال ۱۳۹۷ به ترتیب، ۵۵۱ و ۲۳۰ نفر می‌باشد. تعداد مصدومین ناشی از تصادفات رانندگی برای این دو استان نیز به ترتیب، ۱۸۰۵۵ نفر سهم استان آذربایجان شرقی و ۶۶۶۴ نفر برای استان زنجان گزارش شده است.

برای یک جریان ترافیک سه متغیر ترافیکی اساسی درشت نمود شامل حجم ترافیک، سرعت و چگالی می‌باشد. توانایی پیش‌بینی این متغیرها کمک می‌کند تا ماهیت تغییراتی را که می‌تواند در شبکه‌های حمل‌ونقل به وقوع بپیوندد را درک نموده و نهایتاً پیش‌بینی این متغیرها در کاهش تراکم و حوادث (تصادفات)، نقش مثبتی را ایفا خواهد کرد (Kumar, Parida, & Katiyar, 2015). امروزه مقوله ایمنی را از جمله زیرساخت‌های لازم برای توسعه پایدار قلمداد می‌کنند. از مهم‌ترین موارد ایمنی در سطح کلان، ایمنی در جاده‌ها است و نقش بسزایی در کاهش تصادفات، فوتی‌ها و مجروحین جاده‌ای دارد. از طرفی حرکت با سرعت غیر ایمن در مسیرهای تندرایی یکی از عوامل بروز سوانح و تصادفات شدید در شهرهای بزرگ است (Graham, Naik, McCoy, & Li, 2019). اهمیت موضوع در حدی است که سازمان ملل متحد قطعنامه‌های زیادی در راستای کاهش تصادفات جاده‌ای منجر به مرگ که در سال ۲۰۱۶ حدود یک میلیون و ۳۵۰ هزار نفر بوده را صادر کرده است (WHO, 2018). این امر متخصصین امر حمل‌ونقل را بر آن داشته تا به ابتکار و یافتن راهکارها و روش‌های جدید و مناسبی در راستای کاهش این تصادفات دست بزنند. مبحث ایمنی رانندگی همیشه به‌طور نسبی مطرح بوده ولی در دو دهه اخیر به دلیل افزایش تصادفات و تلفات ناشی از آن، این موضوع از اهمیت بیشتری برخوردار شده است لیکن علیرغم تلاش‌های صورت پذیرفته نتایج مطلوب و دلخواه در کشور عاید نمی‌گردد (Abdolahi, Haghshenas, & Rikhtehgaran, 2019; Ahadi, Hassanpour, Bashiri, & Bashiri, 2017; Esfahani, Rahimi, & Saeidi, 2019).



شکل ۱. رابطه‌ی نمایشی بودن تصادفات با افزایش سرعت میانگین (Nilsson, 2004)

طبق تحقیقات پرز و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی در بارسلون، با ۸ مورد دوربین ثابت سرعت و ۲۲ محل مورد کنترلی (موقعیت دوربین‌ها در طول دوره زمانی مطالعه، متغیر بودند)، تخمین کسر مربوطه برای ۲ سال مداخله دوربین کنترل سرعت با مدل‌سازی رگرسیونی پواسون، نشان داد که از ۳۶۴ تصادف جلوگیری شد، ۵۰۷ نفر کمتر آسیب دیده و ۷۸۹ وسیله کمتر درگیر تصادفات شدند. طبق برآورد صورت گرفته، مجموع تصادفات ۲۶٪ کاهش یافت و کاهش ۲۷٪ مشابه نیز در تعداد صدمات وجود داشت (Pérez, Mari-Dell'Olmo, Tobias, & Borrell, 2007).

ریچارد و همکاران (۲۰۰۸ میلادی) در یک بازه زمانی ۹ ماهه تأثیر دوربین‌های هوشمند کنترل سرعت را برای اولین بار در آزادراه‌های ایالت آریزونا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیان کردند که دوربین‌های کنترل سرعت علاوه بر کاهش سرعت در آزادراه‌ها، کاهش قابل ملاحظه‌ای در سرعت و تصادفات در ۲۵ مایلی دوربین‌های نصب شده اعمال کردند (Retting, Kyrchenko, & McCartt, 2008).

جارسما و همکارانشان در سال ۲۰۱۱ میلادی در کشور هلند در یک مطالعه قبل و بعد (۵ سال قبل و ۳٫۵ سال بعد)، در طول مسیر ۸۵۱ کیلومتری اثربخشی دوربین‌های کنترل سرعت در جاده‌ها را مورد آزمایش قرار دادند. اقدامات انجام شده در مناطق با محدودیت سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، با کاهش معنی‌دار ۲۴ درصدی در

بر اساس مدل ارائه شده در نمودار بالا، با افزایش ۵٪ میانگین سرعت، تقریباً ۱۰٪ در تمام تصادفات جرحی و مقدار ۲۰٪ در میزان تصادفات منجر به فوت افزایش خواهد داشت. به طور مشابه نیز، با کاهش ۵٪ از میانگین سرعت، به ترتیب حدوداً ۱۰٪ تصادفات جرحی و ۲۰٪ تصادفات منجر به فوت کمتر خواهد شد. بنابراین با کاهش چند کیلومتر در ساعت از سرعت می‌توان خطرات ناشی از تصادفات و همچنین کاهش پیامدهای ناشی از تصادف را به شدت کاهش داد. (Nilsson, 2004) تحقیقات گوناگونی در این زمینه توسط محققان داخلی و خارجی صورت گرفته که تأثیر این راهکارها را در کاهش خسارات ناشی از سرعت مورد ارزیابی قرار می‌دهند و در ادامه برخی از مهم‌ترین آن‌ها بررسی می‌شود.

بر اساس نتایج به عمل آمده یک مدل تحلیل خطی با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی مناسب از سایر مدل‌های یادگیری ماشین پیشی می‌گیرد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که سن و جنسیت متوفی، درگیری خودروهای بزرگ‌تر در تصادف و کیفیت روشنایی از علل مرتبط با تلفات عابران پیاده در تصادفات هستند. از سوی دیگر، درگیری موتورسیکلت‌ها و برخوردهایی که در مکان‌های پرجمعیت اتفاق می‌افتد، از علل مرتبط با صدمات عابران پیاده هستند. همچنین تأثیر قابل توجهی که دوربین‌های کنترل ترافیک بر شدت تصادف وسیله نقلیه و عابر پیاده دارند، کاملاً مشهود است (Pineda-Jaramillo, 2020).

پروژه‌های مرتبط با به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند در مدیریت سرعت و تخلفات و بالتبع آن مقابله با تلفات اثرگذار باشد؛ لذا در ادامه این پژوهش نسبت به بررسی تأثیر و بازخورد سیستم‌های کنترل سرعت بر میزان تخلفات و تصادفات راه‌های برون‌شهری کشور در جهت بهبود ایمنی راه‌ها و کاهش کشته‌های ترافیکی پرداخته شده است. آژادراه تبریز- زنجان به‌عنوان مطالعه موردی این تحقیق، بررسی و اطلاعات آن مورد تحلیل قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به لحاظ ساختاری توصیفی-تحلیلی و از نوع مقایسه‌ای بوده و اصالت اثر آن برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاهی بوده و جامعه آماری آن متشکل از داده‌های موجود در سایت سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور، تصادفات ثبت شده توسط اداره پلیس راه استان آذربایجان شرقی و همچنین تعداد و موقعیت نصب دوربین‌های کنترل سرعت ثابت در محور آژادراه تبریز-زنجان برای سال‌های مورد مطالعه می‌باشد.

۲-۱- پیش‌بینی و مدل سری‌های زمانی

یکی از مسائل عمده‌ای که مدیران با آن مواجه هستند، پیش‌بینی و برآورد کمی احتمال وقوع وقایع در آینده است تا بتوانند با آگاهی از این تغییرات، برنامه‌های مناسبی را اجرا نمایند. پیش‌بینی با توجه به اطلاعات حال و گذشته انجام می‌شود و بر این فرضیه استوار است که عوامل موجود در گذشته، حال و آینده نیز موجود بوده و اثرات خود را بر عوامل مورد پیش‌بینی، کم و بیش حفظ کند. در حقیقت مدل‌سازی را با توجه به میزان صحت پیش‌بینی‌شان مورد آزمون قرار می‌دهند. پیش‌بینی برای تمام سازمان‌ها و بخش‌های اقتصادی حائز اهمیت است. دولت نیز جهت تنظیم سیاست‌های خود بایستی قادر به پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی باشد و یا اینکه از مشاوران در این حیطه بهره کافی را ببرد (گجراتی، ۱۹۹۵) (Srivastava, 2017). تحلیل سری زمانی، در دهه‌های اخیر بسیاری از محققین را به سوی خود جذب کرده است. هدف اصلی در تحلیل سری زمانی در مورد یک پدیده، ایجاد یک مدل آماری برای داده‌های

تعداد مصدومین حوادث و مخصوصاً ۴۴ درصدی در تقاطع‌ها را به دنبال داشت (Jaarsma, Louwerse, & Dijkstra, de Vries, & Spaas, 2011).

لی و همکاران (۲۰۱۳ میلادی) اثرات دوربین‌های کنترل هوشمند را بر تصادفات بزرگراه‌های انگلستان با استفاده از روش PSM و EB ارزیابی کردند. بررسی‌ها نشان داد که دوربین‌ها در کاهش میزان تصادفات تا فاصله ۲۰۰ متری بسیار مفید واقع شده‌اند؛ و همچنین دوربین‌های کنترل سرعت به‌طور مداوم بر رفتار راننده در کاهش سرعت خود تأثیر می‌گذارند (H. Li, Graham, & Majumdar, 2019; Rahimi, Taghizadeh, & Navid, 2013).

لی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ میلادی با به‌کارگیری ۱۴۰ دوربین کنترل سرعت در شهر نیویورک به عنوان یک مطالعه موردی، استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت را با توجه به سیاست‌های اجتماعی و اقتصادی و با هدف مقایسه، بازگشت سرمایه و نهایتاً تقلیل هزینه‌های اقتصادی به کار گرفتند تا با کمترین هزینه، بیشترین تأثیر را در به حداقل رساندن تصادفات و تلفات به دست آورند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد با به‌کارگیری دوربین‌های کنترل سرعت علاوه بر کاهش معنی‌دار هزینه‌های پزشکی و افزایش کیفیت زندگی، ۱٫۲ میلیارد دلار نیز در طول عمر گروه فعلی نیویورکی‌ها صرفه‌جویی شد (S. Li, Jiao, Zafari, & Muennig, 2019).

اگر چه ثابت شده است که سفر با سرعت بالاتر از حد مجاز عامل اصلی تصادفات جدی است و مداخلات مدیریت سرعت از جمله دوربین‌های کنترل سرعت نشان داده شده است که سرعت، تصادف و ضربه را کاهش می‌دهد، با این حال، تحقیقات نشان می‌دهند که به دلیل وسیع بودن دامنه نتایج گزارش شده در ارزیابی‌های دوربین‌های کنترل سرعت، درک اثرات آن پیچیده بوده و با وجود اثرات موفقیت آمیز گزارش شده، کماکان شک و تردیدهایی در مورد ارزش دوربین‌های کنترل سرعت وجود دارد (Job, RF, Soames, 2022). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت در پژوهش‌های مختلف از تأثیرات متفاوتی برخوردار بوده که این امر لزوم انجام مطالعه با اتکا بر داده‌های محلی را مشخص می‌کند. استفاده از این اطلاعات می‌تواند در تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی

ارزیابی دوربین‌های کنترل سرعت را در دو مرحله مورد بررسی قرار می‌دهد. در مرحله اول، با نبود سامانه‌های دوربین‌های کنترل سرعت، بر اساس اطلاعات موجود از محورها؛ میزان تصادفات که بخش قابل ملاحظه تحقیق می‌باشد، بررسی شده (مطالعه قبل) و سپس در مرحله بعدی و با اضافه شدن دوربین‌های کنترل سرعت در مسیر (مطالعه بعد)، پارامترهای موجود و در نهایت میزان تصادفات و تلفات محورها، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. آمار توصیفی برای سال پایه اول و سال پایه دوم، سال طرح و سال افق لحاظ گردیده است. نمودارهای شکل ۲ نشان دهنده میزان تعداد عبور وسایل نقلیه (تعداد کل عبوری، وسایل نقلیه سبک و وسایل نقلیه سنگین) و تعداد تخلف سرعت غیرمجاز برای مجموع ۴ محور مورد مطالعه به تفکیک ۱۲ ماه از سال برای سال‌های مختلف^۲ مورد مطالعه، به صورت رفت و برگشت می‌باشد. برای خودروهای عبوری سنگین نیز تقریباً یک روند ثابت در طول سال مشاهده می‌شود. جدول ۱، آمار بیشترین و کمترین تعداد عبور، سرعت متوسط و تعداد تخلف سرعت غیرمجاز در هر ماه است.

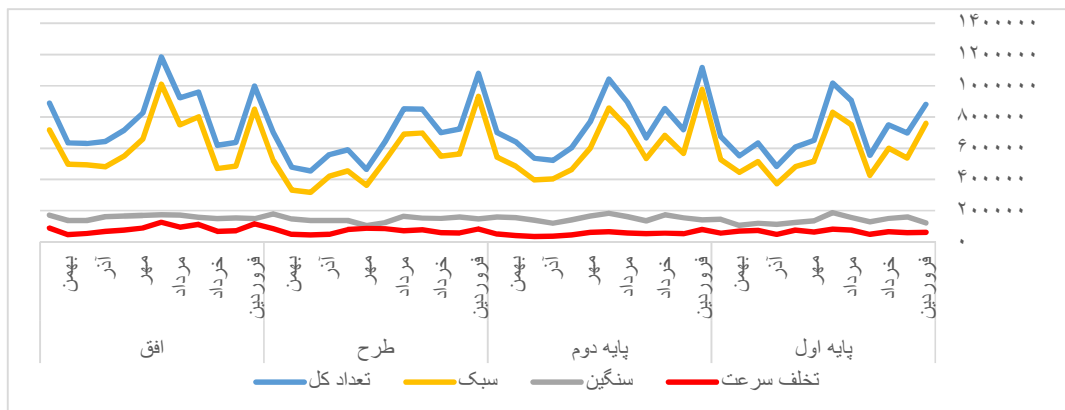
وابسته به زمان بر اساس اطلاعات گذشته آن پدیده است. با این کار امکان پیش‌بینی در مورد آینده پدیده مورد بحث میسر می‌شود.

به عبارتی تحلیل سری زمانی، ایجاد مدلی گذشته‌نگر است تا امکان تصمیمات آینده‌نگر را فراهم سازد. یک سری زمانی دنباله‌ای از مشاهدات برای یک متغیر معین است که یک ترکیب غیرقابل تغییر را در طول زمان دارد.

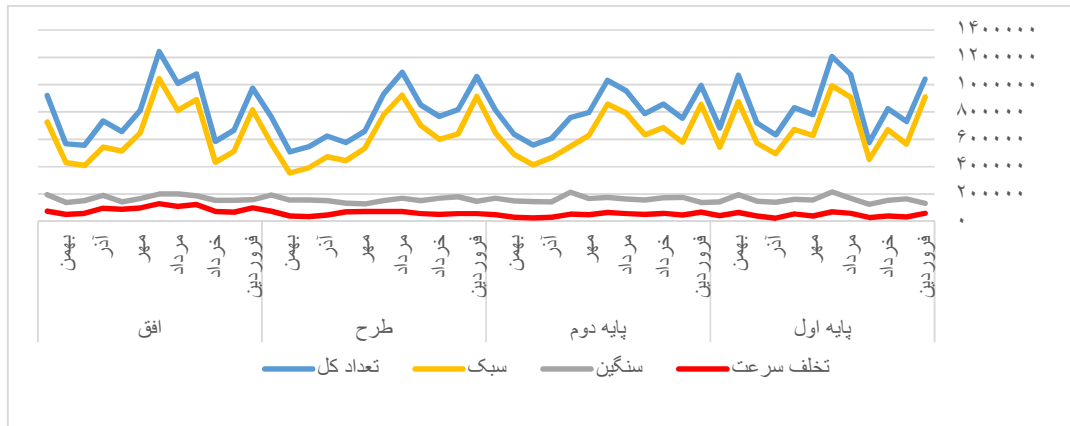
تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به‌طور نظری و عملی از زمان شروع کار اصلی جورج ای. پی. باکس و گوولیم ام. جنکینز در سال ۱۹۷۰ (با عنوان تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، پیش‌بینی و کنترل) به سرعت توسعه پیدا نمود. هدف تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی معمولاً شامل دو دسته؛ درک یا به مدل درآوردن مکانیسم تصادفی که منجر به مشاهده، سری می‌شود و پیش‌بینی مقادیر آینده سری، بر مبنای گذشته آن است (Box, Jenkins, Reinsel, & Ljung, 2015).

۳- یافته‌ها

تحلیل آمارهای موجود بر اساس دو سطح آمار توصیفی و آمار استنباطی می‌باشد. روشی که برای این تحقیق صورت گرفته است، یک روش مطالعه قبل و بعد می‌باشد. این مطالعه



الف) مسیر رفت: تبریز- زنجان



ب) مسیر برگشت: زنجان- تبریز

شکل ۲. پارامترهای ترافیکی به تفکیک ماه برای کل سالهای مطالعه قبل و بعد

جدول ۱. آمار بیشترین و کمترین تعداد عبوری، سرعت متوسط و تعداد تخلف سرعت غیرمجاز

زنجان - تبریز (مسیر برگشت)

تبریز - زنجان (مسیر رفت)

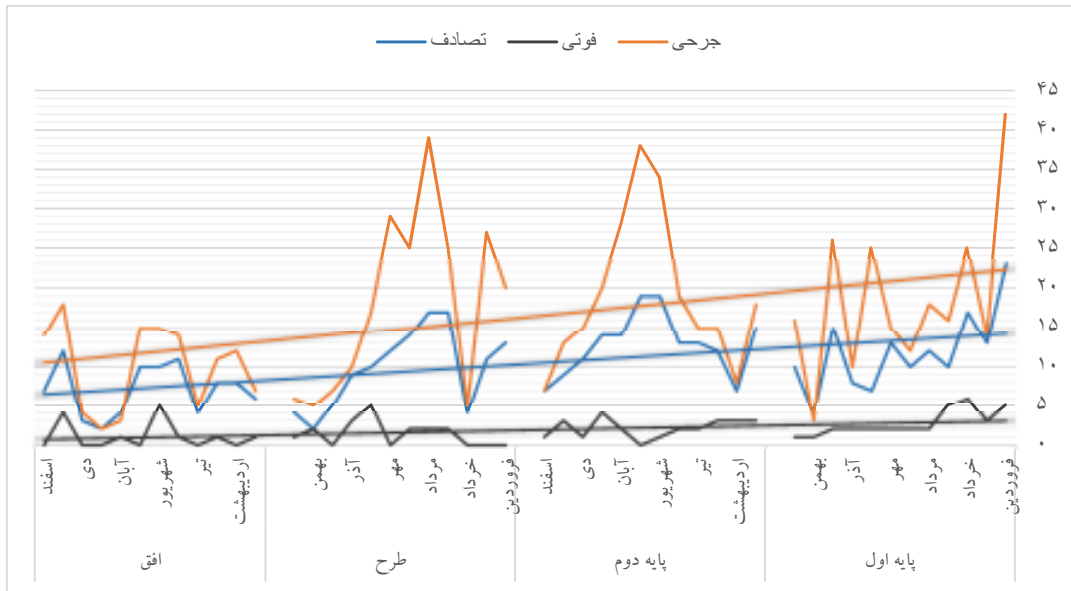
| سال | تعداد کل | | سرعت متوسط | | تخلف سرعت | | بیشترین | کمترین |
|----------|----------|---------|------------|---------|-----------|---------|---------|--------|
| | شهریور | فروردین | شهریور | فروردین | شهریور | فروردین | | |
| پایه اول | ۱۰۱۷۴۶۰ | ۱۱۱۷۳۸۹ | ۸۹,۳ | ۹۰,۲ | ۶۸۴۲۶ | ۶۶۱۶۶ | بیشترین | کمترین |
| پایه دوم | ۱۰۷۸۵۴۱ | ۱۱۸۴۲۷۹ | ۹۰,۲ | ۹۳,۷ | ۷۲۶۱۱ | ۱۲۷۹۰۴ | | |
| طرح | ۱۰۷۸۵۴۱ | ۱۱۸۴۲۷۹ | ۹۶,۶ | ۹۳,۷ | ۷۲۶۱۱ | ۱۲۷۹۰۴ | | |
| افق | ۱۱۸۴۲۷۹ | ۱۱۸۴۲۷۹ | ۹۳,۷ | ۹۳,۷ | ۱۲۷۹۰۴ | ۱۲۷۹۰۴ | | |
| پایه اول | ۴۸۴۳۰۵ | ۵۲۲۸۴۸ | ۸۴,۵ | ۸۵,۳ | ۲۳۳۳۳ | ۲۴۲۷۰ | بیشترین | کمترین |
| پایه دوم | ۵۲۲۸۴۸ | ۵۵۴۹۷۰ | ۸۵,۳ | ۸۲,۶ | ۲۳۳۳۳ | ۲۴۲۷۰ | | |
| طرح | ۵۵۴۹۷۰ | ۶۱۸۱۱۳ | ۸۲,۶ | ۷۶,۶ | ۲۳۳۳۳ | ۲۴۲۷۰ | | |
| افق | ۶۱۸۱۱۳ | ۶۱۸۱۱۳ | ۷۶,۶ | ۷۶,۶ | ۲۳۳۳۳ | ۲۴۲۷۰ | | |

۳-۱- توصیف آماری تعداد تصادفات، فوتی و

جرحی به تفکیک ۱۲ ماه سال

با توجه به داده‌های موجود، مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی تصادفات برای سال پایه اول، مربوط به ماه فروردین با تعداد تصادفات ۲۳ فقره و تعداد فوتی ۵ و تعداد مجروحین ۴۲ (به ترتیب با درصدهای فراوانی ۱۶,۲٪، ۱۵,۲٪ و ۱۸,۹٪)، و برای سال پایه دوم، مربوط به ماه مهر با تعداد تصادفات ۱۹

فقره، صفر تعداد فوتی و ۳۸ تصادفات تصادف (به ترتیب با درصدهای فراوانی ۱۲,۴٪، ۰٪ و ۱۶,۵٪) و شهریور ماه با ۱۹ فقره تصادف، ۱ نفر فوتی و ۳۴ نفر مجروح (به ترتیب با درصدهای فراوانی ۱۲,۴٪، ۴٪ و ۱۴,۸٪) می‌باشد که این میزان با اضافه شدن دوربین‌های کنترل سرعت در مسیر، سیر نزولی یافته و این روند به‌صورت معنی‌دار تا انتهای سال ادامه دارد.



شکل ۳. نمودار فراوانی تعداد تصادفات، متوفیان و مجروحین به تفکیک ماه برای سال‌های پایه اول لغایت سال افق

زمان مرتب شده‌اند، لذا آمادگی ورود به این تکنیک را دارند. بر این اساس، در این مقاله از داده‌های ثبت شده برای تکنیک سری‌های زمانی بهره برده شد.

۳-۳- خلاصه اطلاعات نیکویی برازش مدل‌های سری زمانی

همچنان که در جدول ۲ هم ملاحظه می‌شود، آماره $Ljung-Box Q(18)$ در تمامی مدل‌ها (تصادفات، تعداد فوتی، تعداد جرحی) کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد که گویای آن است که در سری مشاهده شده، ساختاری وجود دارد که توسط مدل محاسبه شده است. بنابر نتایج حاصله از این قسمت، داده‌های به کار برده شده از ساختار مشخصی برخوردار است که می‌تواند نتیجه وجود کنترل عامل خارجی (دوربین‌های کنترل سرعت) باشد. همچنین $Number of Outliers$ برابر صفر است که بیانگر تعداد نقاط دور افتاده (پرت) است و نشان می‌دهد در این مدل‌ها هیچ نقطه دورافتاده‌ای وجود ندارد.

۳-۲- مدل‌سازی سری زمانی (بررسی آمار استنباطی)

دو کاربرد مهم مدل‌های آماری، پیش‌بینی و ساخت اطلاعات می‌باشد. منظور از پیش‌بینی سری‌های زمانی تخمین مقدار یک متغیر در افق زمانی آینده یا در زمانی است که اطلاعات آن ثبت نشده است. مهم‌ترین هدف از تحلیل سری زمانی پیش‌بینی مقادیر آینده آن است. ساخت اطلاعات یک سری زمانی عبارت است از تولید تعداد مشخصی از متغیرهای آن سری، به طوری که اطلاعات تولید شده به لحاظ خواص آماری مشابه با سری زمانی مورد نظر باشد. تفاوت اساسی بین عملیات پیش‌بینی و ساخت اطلاعات در این است که در انجام پیش‌بینی، افق زمانی مشخص و محدود می‌باشد. در حالی که در تولید و ساخت اطلاعات، افق زمانی خاصی را نمی‌توان در نظر داشت اما انتظار این است که رفتار و تغییرات خاص یک سری زمانی در سری بلند مدت ساخته شده، آشکار شده باشد. در مسائل عملی افق پیش‌بینی‌های سری‌های زمانی تصادفات حداکثر چندین ماه می‌باشد، در حالی که با توجه به نیاز می‌توان یک سری زمانی را تا چندین سال تولید نمود. داده‌های تصادفات ثبت شده به دلیل اینکه مجموعه مشاهداتی هستند که بر اساس

جدول ۲. مشخصات مدل سری زمانی

الف: محور اول

| Model | Number of Predictors | Model Fit statistics | | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------|------|---|--------------------|
| | | R-squared | Statistics | DF | Sig. | | |
| ACC-Model_2 | 0 | .895 | 34.235 | 16 | .005 | 0 | |
| Death-Model_3 | 0 | .845 | 29.643 | 16 | .020 | 0 | |
| Injury-Model_4 | 0 | .876 | 24.875 | 16 | .044 | 0 | |

ب: محور دوم

| Model | Number of Predictors | Model Fit statistics | | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------|------|---|--------------------|
| | | R-squared | Statistics | DF | Sig. | | |
| ACC-Model_2 | 0 | .898 | 41.059 | 16 | .001 | 0 | |
| Death-Model_3 | 0 | .846 | 43.330 | 16 | .000 | 0 | |
| Injury-Model_4 | 0 | .890 | 28.472 | 16 | .028 | 0 | |

ج: محور سوم

| Model | Number of Predictors | Model Fit statistics | | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------|------|---|--------------------|
| | | R-squared | Statistics | DF | Sig. | | |
| ACC-Model_2 | 0 | .789 | 24.075 | 16 | .048 | 0 | |
| Death-Model_3 | 0 | .747 | 22.002 | 16 | .043 | 0 | |
| Injury-Model_4 | 0 | .844 | 22.723 | 16 | .021 | 0 | |

د: محور چهارم

| Model | Number of Predictors | Model Fit statistics | | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------|------|---|--------------------|
| | | R-squared | Statistics | DF | Sig. | | |
| ACC-Model_2 | 0 | .834 | 24.336 | 15 | .050 | 0 | |
| Death-Model_3 | 0 | .865 | 32.966 | 16 | .007 | 0 | |
| Injury-Model_4 | 0 | .901 | 20.973 | 15 | .038 | 0 | |

۳-۴- مقادیر پیش‌بینی شده

جدول ۳ مقادیر مدل پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مدل پیش‌بینی سری زمانی

الف: محور اول

| Model | | Apr 2016 | May 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Aug 2016 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ACC-Model_2 | Forecast | 2.14 | 3.14 | 2.64 | 2.14 | 4.64 |
| | UCL | 4.97 | 5.99 | 5.50 | 5.02 | 7.53 |
| | LCL | -.70 | .29 | -.23 | -.74 | 1.75 |
| Death-Model_3 | Forecast | .92 | .42 | 1.92 | 1.92 | 1.42 |
| | UCL | 2.70 | 2.20 | 3.71 | 3.72 | 3.23 |
| | LCL | -.86 | -1.37 | .12 | .11 | -.39 |
| Injury-Model_4 | Forecast | 2.82 | 2.82 | 2.32 | 2.82 | 8.32 |
| | UCL | 8.10 | 8.13 | 7.66 | 8.18 | 13.71 |
| | LCL | -2.46 | -2.48 | -3.01 | -2.54 | 2.94 |

ب: محور دوم

| Model | | Apr 2016 | May 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Aug 2016 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ACC-Model_2 | Forecast | 5.58 | 2.58 | 5.08 | 3.58 | 3.08 |
| | UCL | 8.86 | 5.88 | 8.40 | 6.91 | 6.43 |
| | LCL | 2.30 | -.72 | 1.76 | .25 | -.27 |
| Death-Model_3 | Forecast | .49 | 1.99 | 1.49 | .99 | -.01 |
| | UCL | 1.57 | 3.08 | 2.58 | 2.09 | 1.09 |
| | LCL | -.59 | .90 | .40 | -.11 | -1.11 |
| Injury-Model_4 | Forecast | 7.77 | 2.77 | 5.77 | 4.27 | 3.77 |
| | UCL | 13.96 | 8.99 | 12.02 | 10.55 | 10.08 |
| | LCL | 1.58 | -3.45 | -.48 | -2.01 | -2.54 |

ج: محور سوم

| Model | | Apr 2016 | May 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Aug 2016 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ACC-Model_2 | Forecast | 7.84 | 2.34 | 3.84 | 5.34 | 2.84 |
| | UCL | 11.53 | 6.03 | 7.53 | 9.03 | 6.53 |
| | LCL | 4.15 | -1.35 | .15 | 1.65 | -0.85 |
| Death-Model_3 | Forecast | 1.50 | .50 | 1.00 | .50 | .50 |
| | UCL | 2.36 | 1.71 | 2.48 | 2.21 | 2.41 |
| | LCL | .64 | -.71 | -.48 | -1.21 | -1.41 |
| Injury-Model_4 | Forecast | 13.86 | 3.36 | 7.36 | 8.36 | 4.86 |
| | UCL | 22.59 | 12.14 | 16.18 | 17.22 | 13.77 |
| | LCL | 5.13 | -5.41 | -1.46 | -.50 | -4.04 |

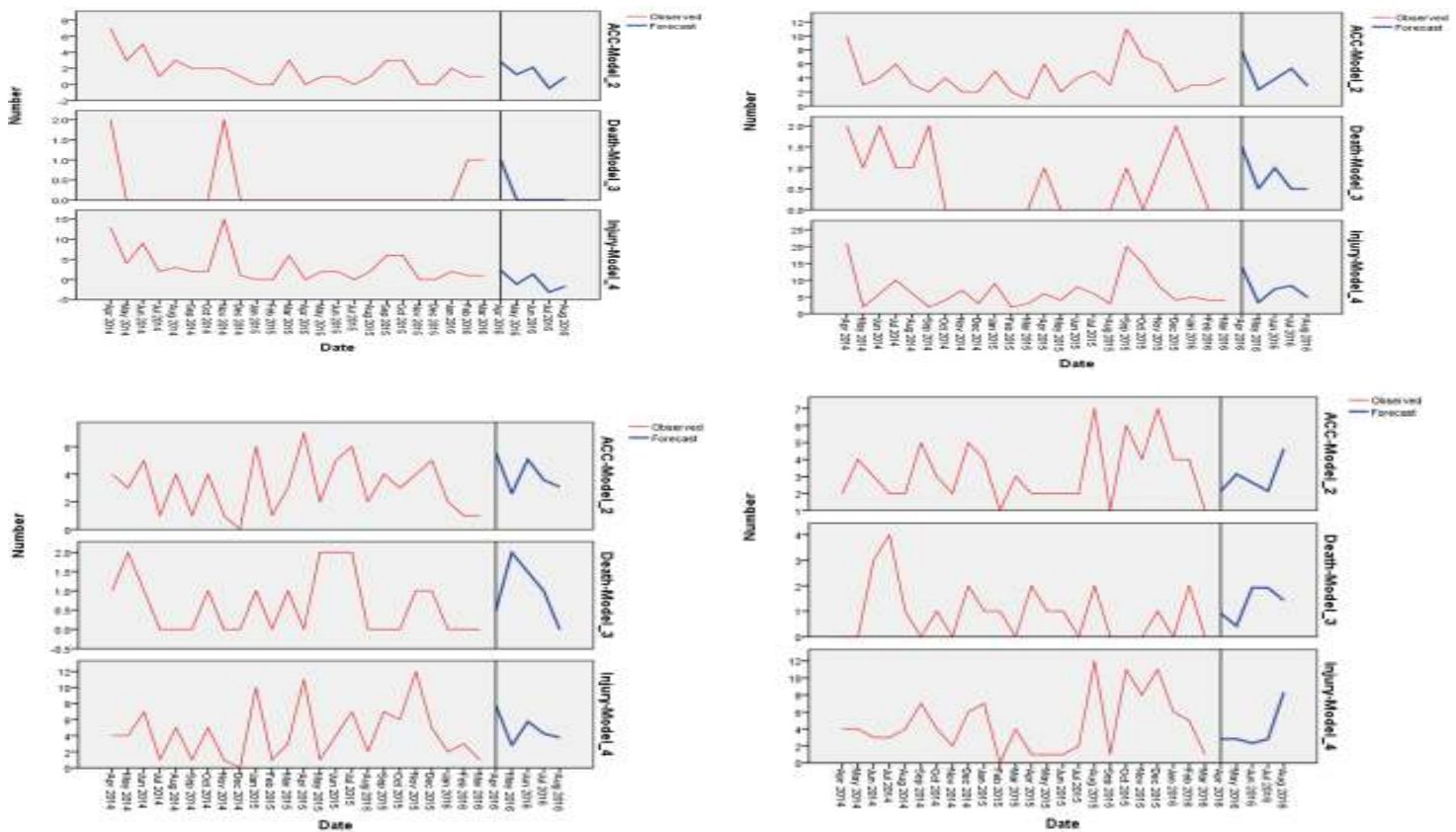
د: محور چهارم

| Model | | Apr 2016 | May 2016 | Jun 2016 | Jul 2016 | Aug 2016 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ACC-Model_2 | Forecast | 2.83 | 1.23 | 2.13 | -.47 | .94 |
| | UCL | 5.32 | 3.83 | 4.95 | 2.71 | 4.60 |
| | LCL | .34 | -1.36 | -.68 | -3.64 | -2.73 |
| Death-Model_3 | Forecast | 1.01 | .01 | .01 | .01 | .01 |
| | UCL | 2.03 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 |
| | LCL | -.01 | -1.02 | -1.02 | -1.03 | -1.03 |
| Injury-Model_4 | Forecast | 2.35 | -1.15 | 1.35 | -3.15 | -1.65 |
| | UCL | 8.98 | 5.48 | 7.99 | 3.49 | 4.99 |
| | LCL | -4.29 | -7.79 | -5.29 | -9.80 | -8.30 |

۳-۵- مدل روند مقادیر واقعی و برازش شده

شکل ۴ هم مدل روند واقعی و پیش‌بینی تعداد تصادفات، فوتی و جرحی در قسمتهای مختلف محور مورد مطالعه است.

الف) محور اول



شکل ۴. مدل روند واقعی و پیش‌بینی تعداد تصادفات، فوتی و جرحی

۳-۶- تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت بر میزان تصادفات و تلفات

جدول ۴. مقایسه مدل و داده‌های موجود سال طرح (بدون و با حضور دوربین)

| سال طرح | | | | | Time Series | | | | | |
|---------|------|-------|----------|---------|-------------|-----|-------|----------|---------|--------|
| مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | فروردین | مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | فروردین | |
| ۶ | ۴ | ۱ | ۳ | ۴ | ۵ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲ | محور ۱ |
| ۵ | ۶ | ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۴ | ۵ | ۳ | ۶ | محور ۲ |
| ۵ | ۷ | ۰ | ۳ | ۳ | ۳ | ۵ | ۴ | ۲ | ۸ | محور ۳ |
| ۱ | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۰ | ۲ | ۱ | ۳ | محور ۴ |
| ۱۷ | ۱۷ | ۴ | ۱۱ | ۱۳ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۴ | ۹ | ۱۹ | مجموعه |
| ۱۴۲٪ | ۱۵۵٪ | ۲۹٪ | ۱۲۲٪ | ۶۸٪ | | | | | | |
| | | ۹۵٪ | | | | | | | | |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۲ | ۲ | ۰ | ۱ | محور ۱ |
| ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۲ | ۰ | محور ۲ |
| ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | محور ۳ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | محور ۴ |
| ۲ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۴ | ۴ | ۳ | ۴ | مجموعه |
| ۱۰۰٪ | ۵۰٪ | ۰٪ | ۰٪ | ۰٪ | | | | | | |
| | | ۲۴٪ | | | | | | | | |
| ۱۳ | ۸ | ۱ | ۱۲ | ۷ | ۸ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | محور ۱ |
| ۱۳ | ۹ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۴ | ۶ | ۳ | ۸ | محور ۲ |
| ۱۱ | ۸ | ۰ | ۶ | ۵ | ۵ | ۸ | ۷ | ۳ | ۱۴ | محور ۳ |
| ۲ | ۰ | ۱ | ۳ | ۳ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۲ | محور ۴ |
| ۳۹ | ۲۵ | ۵ | ۲۷ | ۲۰ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۶ | ۹ | ۲۷ | مجموعه |
| ۲۲۹٪ | ۱۶۷٪ | ۳۱٪ | ۳۰۰٪ | ۷۴٪ | | | | | | |
| | | ۱۳۸٪ | | | | | | | | |

هشترود دیده می‌شود. محور میانه- زنجان نیز کاهش چشمگیری نداشته است.

بیشترین تغییرات مثبت مربوط به داده‌های تلفات فوتی می‌باشد. این مقدار نسبت به پیش‌بینی مدل سری زمانی ۷۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد که این نشانگر تأثیر بسزای دوربین‌ها در تصادفات مرگبار و منجر به فوت است. بیشترین تأثیر مربوط به محور تبریز - بستان‌آباد و میانه - زنجان بوده که تلفات منجر به فوت به صفر رسیده و در محورهای تبریز - هشترود و هشترود - میانه، به ترتیب ۵۰ درصد و ۶۷ درصد کاهش یافت. در این بین نکته قابل توجه این است که با بالا رفتن حجم سفرها، میزان تأثیرگذاری دوربین کمتر شده و در تیر و مرداد (بدون کاهش) هم‌زمان با افزایش سفرهای تابستانی، کمترین میزان کاهش دیده شد.

در مورد میزان تعداد مصدومین در تصادفات جرحی، برعکس دو متغیر قبل؛ شاهد افزایش مجروحین به میزان ۳۸

در مقایسه داده‌های سال طرح و مدل پیش‌بینی سری زمانی نتایج زیر حاصل شد:

با وجود حضور دوربین کنترل سرعت در محور، تعداد تصادفات کاهش چشمگیری نداشت و به طور متوسط ۵ درصد کاهش دارد. البته تأثیر دوربین‌ها در فروردین ماه چشمگیر بوده و باعث کم شدن ۳۲ درصد از میزان تصادفات گردید که بخش عمده‌ای از آن تصادفات نوروژی را نیز در بر می‌گیرد.

کاهش قابل ملاحظه ۷۱ درصدی تصادفات تیرماه را می‌توان به ماه رمضان و الگوی زمان شروع سفرها نیز نسبت داد که متفاوت از دیگر ماه‌ها است و باعث شده تعداد تصادفات در این ماه کاهش پیدا کند.

ناگفته نماند با بررسی محورها، این نتیجه حاصل می‌شود که اگرچه میزان تصادفات در محور تبریز- بستان‌آباد نسبت به مدل پیش‌بینی افزایش داشته، لیکن در محور هشترود- میانه به همان میزان کاهش و کاهشی را نیز در محور تبریز-

سال تا ۶۸ درصد و ۳۹ درصد برای کل سال) در سال افق به میزان قابل توجهی نسبت به سال طرح کاهش یافته است. می‌توان این‌گونه در نظر گرفت که هنگامی که رانندگان به دوربین‌های کنترل سرعت آشنا شدند، این اعمال محدودیت به مرور زمان تأثیر مثبت و پایدارتر خود را در رفتار رانندگان به جای گذاشته است.

به طور خلاصه، از آنجا که سری زمانی دنباله مرتب شده است داده‌ها به عنوان تابعی از زمان در مجموعه داده‌های جمع آوری شده می‌باشد، داده‌ها را به عنوان تابعی از زمان در مجموعه داده‌های جمع آوری شده در نظر گرفته که نسبت به مدل‌های عددی صرف پیش بینی دقیق‌تری ارائه می‌نماید. با توجه به اینکه ۶۵ درصد فوتی‌های تصادفات مربوط به جاده‌های برون شهری بوده و طبق تحقیقات صورت گرفته، کنترل سرعت و اعمال سرعت بهینه تا ۸۵ درصد از تصادفات مرگبار را کاهش می‌دهد، لذا اجرای اعمال محدودیت سرعت به عنوان یک رویکرد گسترده‌تر برای مدیریت سرعت است که علاوه بر کاهش سرعت متوسط و میزان تصادفات، می‌تواند طول زمان تأثیر این اثر را افزایش و یا تداوم بخشد. علیرغم همه محدودیت‌ها، هماهنگی کاهش در سرعت و نتایج تصادفات گزارش شده و همچنین روند مثبت حفظ و یا بهبود این کاهش‌ها در طولانی مدت، نشان می‌دهد که دوربین‌های کنترل سرعت یک مداخله ارزشمند برای کاهش تعداد تلفات و مرگ‌ومیر جاده‌ای در کشور خواهد بود.

۵- سپاسگزاری

مقاله حاضر، حاصل بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان "بررسی مقایسه‌ای تأثیر دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در ایمنی جاده‌ها به کمک روش سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: آزادراه تبریز - زنجان" می‌باشد که با راهنمایی نگارنده دوم ارائه شده است. در اینجا نویسندگان مقاله بر خود لازم دانستند از همکاری و مساعدت‌های اداره پلیس راه استان‌های آذربایجان شرقی (سرپرست وقت جناب سرهنگ کریمی نژاد) و زنجان، فرماندهی پلیس راهنمایی و رانندگی استان آذربایجان شرقی، جناب سرهنگ پور ابراهیم مسئول محترم اداره

درصد نسبت به مدل پیش‌بینی سری زمانی می‌باشد. بیشترین میزان افزایش داده‌های جرحی مربوط به محورهای تبریز - بستان‌آباد و میانه - زنجان می‌باشد که می‌توان از جهتی آن را مرتبط با این حقیقت دانست که در چندین سال اخیر حدود ۷۵ درصد تصادفات مرگبار جاده‌ای در ۳۰ کیلومتری شهرها یعنی زمانی که کمتر از نیم ساعت به پایان سفر باقیمانده است، رخ می‌دهد.

در بحث ارتقا ایمنی و پیشگیری‌ها، موردی که بسیار حائز اهمیت بوده و مخصوصاً در سال مشاهده گردید، رابطه معنی‌دار کاهش تعداد آمار فوتی‌ها با افزایش تعداد مجروحین بود. به این معنی که در بحث ایمنی اولویت اصلی و مهم، کاهش تعداد متوفیان می‌باشد. با وجود اینکه در همین سال شاهد افزایش حدوداً ۳۸ درصدی تعداد مصدومین تصادفات نسبت به مدل پیش‌بینی است، در مقابل، تعداد متوفیان ناشی از حوادث جاده‌ای کاهش چشمگیر ۷۶ درصدی را داشته است. در نتیجه مشاهده می‌شود که سطح آسیب دیدگی به صورت چشمگیری کاهش پیدا کرده و در یک نوع ملایم‌تر یعنی در آمار جراحات نمود پیدا می‌کند (کاهش سطح آسیب دیدگی از فوتی به جرحی).

نکته دیگری که قابل توجه است، نقش ماه‌های قمری خاص مانند ماه رمضان و ماه محرم در الگوی سفرها می‌باشد.

بررسی داده‌ها این نکته را نیز نشان داد که با بالا رفتن حجم سفرها، میزان تأثیرگذاری دوربین کمتر شده و خصوصاً هم‌زمان با افزایش سفرهای تابستانی، کاهش نقش مثبت دوربین‌های کنترل سرعت ملاحظه شد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اگرچه در سال اول حضور دوربین در محور، تعداد تصادفات کاهش چشمگیری نداشته است، ولی با بررسی عمیق‌تر می‌توان متوجه این مسأله شد که تأثیر دوربین‌ها می‌تواند بلندمدت‌تر باشد. به عنوان مثال با وجود این‌که تعداد خودروهای عبوری پنج ماهه نخست سال طرح و سال افق تقریباً یکسان (حدود ۸,۵۰۰,۰۰۰ خودروی عبوری) است اما آمار تصادفات، تعداد متوفیان و مخصوصاً تعداد مجروحین (برای پنج ماه نخست

-Jaarsma, R., Louwerse, R., Dijkstra, A., de Vries, J., & Spaas, J. P., (2011), "Making minor rural road networks safer: The effects of 60 km/h-zones", *Accident Analysis & Prevention*, 43(4), pp.1508-1515.

-Job, RF Soames, (1765), "Evaluations of Speed Camera Interventions Can Deliver a Wide Range of Outcomes: Causes and Policy Implications", *Sustainability* 14, No. 3 (2022).

-Kumar, K., Parida, M., & Katiyar, V. K. (2015), "Short term traffic flow prediction in heterogeneous condition using artificial neural network", *Transport*, 30(4), pp.397-405.

-Li, H., Graham, D. J., & Majumdar, A., (2013), "The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods", *Accident Analysis & Prevention*, 60, pp.148-157.

-Li, H., Zhang, Y., & Ren, G., (2020), "A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method", *Journal of Safety Research*.

-Li, S., Jiao, B., Zafari, Z., & Muennig, P., (2019), "Optimising the cost-effectiveness of speed limit enforcement cameras", *Injury Prevention*, 25(4), pp.273-277.

-Nilsson, G., (2004), "Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety, University.

-Pérez, K., Mari-Dell'Olmo, M., Tobias, A., & Borrell, C., (2007), "Reducing road traffic injuries: effectiveness of speed cameras in an urban setting", *American journal of public health*, 97(9), pp.1632-1637.

-Pineda-Jaramillo, Juan, Humberto Barrera-Jiménez, and Rodrigo Mesa-Arango. "Unveiling the relevance of traffic enforcement cameras on the severity of vehicle-pedestrian collisions in an urban environment with machine learning models", *Journal of safety research* 81 (2022), pp.225-238.

-Rahimi, A. M., Taghizadeh, V., & Navid, A. (2019), "Investigation and comparison of speed camera types and their effects on suburban roads on reducing road accidents and casualties", Paper presented at the 6th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management. [in persian]

-Retting, R. A., Kyrychenko, S. Y., & McCart, A. T., (2008), "Evaluation of automated speed enforcement on Loop 101

آموزش و فرهنگ ترافیک پلیس راهنمایی و رانندگی استان آذربایجان شرقی، جناب آقای پاکدل، سرکاران خانم رهبر و خانم محمدنژاد مسئول دفتر تحقیقات کاربردی نیروی انتظامی آذربایجان شرقی و سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان آذربایجان شرقی علی‌الخصوص مدیریت محترم راه‌های استان جناب مهندس بلوکی تشکر و قدردانی نمایند".

۶- پی‌نوشت‌ها

-مسیر آزاد راه تبریز- زنجان متشکل از چهار محور (تبریز- بستان آباد، بستان آباد-هشترود، هشترود-میانه و میانه- زنجان) می‌باشد.

-سال‌های آماری به ترتیب پایه اول ۱۳۹۳، پایه دوم، ۱۳۹۴، طرح: ۱۳۹۵ و افق، ۱۳۹۶ می‌باشند.

۷- مراجع

-Abdel-Aty, M. A., & Abdelwahab, H. T. (2000), "Exploring the relationship between alcohol and the driver characteristics in motor vehicle accidents", *Accident Analysis & Prevention*, 32(4), pp.473-482.

-Abdollahi, R., Haghshenas, H., & Rikhtehgaran, R., (2019), "Modeling of the Impact of Geometric Design, Topography and Road Access in Rural Road Accidents by Factor Analysis and Generalized Linear Regression (Case Study: Ways of Kerman Province)".

-Ahadi, M., Hassanpour, M., Bashiri, P., & Bashiri, P., (2017), "Strategies to promote safety to prevent pedestrian accidents in the city of Qazvin", *Irteqā-yi īminī va pīshgīrī az mašdūmiyat/ha (ie, Safety Promotion and Injury Prevention)*, 4(3), pp.143-150.

-Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M., (2015), "Time series analysis: forecasting and control: John Wiley & Sons".

-Esfahani, M. A., Rahimi, A. M., & Saeidi, S., (2019), "Identification and Prioritization of Effective Parameters in Injury-Causing Accidents at Four-Lane Intersections (Case study: Isfahan City)", *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*, 7(2).

-Graham, D. J., Naik, C., McCoy, E. J., & Li, H., (2019), "Do speed cameras reduce road traffic collisions?" *PLoS one*, 14(9), e0221267 .

- Vahabzadeh, E., (1387), "Role of human factors on driving accident of Karaj-Ghazvine highway in 1384 and preventive approaches", *Journal of traffic managements*, 3(8), pp.57-84.
- WHO, (2010), "Eastern Mediterranean status report on road safety: call for action: World Health Organization".
- WHO, (2018), "Global status report on road safety 2018".
- freeway in Scottsdale, Arizona, *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), pp.1506-1512.
- Soriguera, F., Martínez, I., Sala, M., & Menéndez, M., (2017), "Effects of low speed limits on freeway traffic flow, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77, pp.257-274.
- Srivastava, G. N., (2017), "Exploring New Services for Effective Service Delivery: The Case of Public Transportation".
- Transport, E. C. o. M. o., & Centre, O. E. T. R., (2006), "Speed management: OECD Publishing."

Investigation of Speed Cameras' Effects on Road Network Safety by Using Time Series (Case Study: Tabriz - Zanjan Freeway)

Vahid Taghizadeh, MSc. Grad., Department of Civil Engineering - Highway and Transportation Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Amir Masoud Rahimi, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Navid Afkar, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering - Highway and Transportation Engineering, Faculty of Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

E-mail: amrahimi@znu.ac.ir

Received: September 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

Traffic safety issues due to speed increase accompanied by the rapid development of freeway and highway systems have increased the concern of the people and transportation policymakers. Speed limitation, as one of the most common safety measures, plays a unique role in protecting passenger safety. Thus, studying the traffic control effect by applying the speed limit on roads (especially freeways and highways) is scientifically significant to ensure passenger safety and functional performance. In this paper, the time series method predicted road accidents on Tabriz-Zanjan freeway in the design year (presence date of the speed cameras). Then by comparing the anticipated results with the actual data, the impact of speed cameras on this road has been investigated. Before the modeling process, Excel software performed data collection, recording, framing, and normalization operations, and IBM SPSS software was used to construct the time series model. After comparing the design year's data and examining the impact of cameras on this freeway, the number of fatal accidents decreased by 76%. The effect of speed cameras in reducing the number of crashes was negligible by 5%, and it did not have a positive impact on the number of injuries, and injuries increased by 38% this year. By investigating available data from base year until horizon year, it was observed that upgrading road safety has been possible by adding appropriate designs, and the speed cameras on this route have had acceptable performance. All three parameters (the number of crashes, deceases, and injuries) have decreased.

Keywords: Safety, Prevention, Road Fatalities, Speed Camera, Time Series