





مرکز آموزشهای الکترونیکی

گروه مهندسی کامپیوتر

تحلیل سودمندی ثبت تخلفات رانندگی توسط دوربین‌های راهنمایی و رانندگی

بی بی هانیه دقیق نژاد

استاد راهنما

دکتر هدی مشایخی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۹۴

دانشگاه شاهرود
مرکز آموزشهای الکترونیکی
گروه مهندسی کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم بی بی هانیه دقیق نژاد به شماره دانشجویی: ۹۱۲۶۷۶۴

تحت عنوان: تحلیل سودمندی ثبت تخلفات رانندگی توسط دوربینهای راهنمایی و رانندگی

در تاریخ 94/11/28 توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجهمورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: هدی مشایخی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: مرتضی زاهدی
	علی عباس نژاد		نام و نام خانوادگی: علی اکبر پویان

پاسکزار کسافی هتمم که سرآغاز تولد من هستند. از یکی زاده می‌شوم و از دیگری جاودانه. استادی که سپیدی را بر تخت

سیاه زندگیم گذاشت و مادری که تار مویی از او پای من سیاه نامند.

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه مادر لغت نامه دلم، مادر مهربانم که هنوز رفتش را باور نکردم و زندگیم را دیدیون مهر و عطفوت اومی دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی همیشگی من.

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و مورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب ” من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ“:

از استاد با کمالات و شایسته؛ سرکار خانم دکتر هدی مشایخی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر مرتضی زاهدی و دکتر علی اکبر پویان که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهدنامه

اینجانب بی بی هانیه دقیق نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر-گرایش هوش مصنوعی مرکز آموزشهای الکترونیکی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل سودمندی ثبت تخلفات رانندگی توسط دوربین‌های راهنمایی و رانندگی تحت راهنمایی سرکار خانم دکتر هدی مشایخی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه شاهرود" و یا "Shahrood University" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

مجمع عمومی سازمان ملل متحد، دهه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ میلادی را به عنوان دهه کاهش تلفات جاده‌ای معرفی کرد. این سازمان در طی قطعنامه‌های مختلفی از تمام کشورها خواسته است نسبت به کاهش تصادفات جاده‌ای توجه خاصی نمایند. عامل سرعت نقش کلیدی در کاهش ریسک تصادفات جاده‌ای را دارد که یکی از عوامل بازدارندگی سرعت غیرمجاز خودروها، دوربین‌های ثبت تخلف پلیس راهور ناجا می‌باشد.

هدف از این پژوهش تحلیل سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف راهنمایی و رانندگی بزرگراه‌های کلانشهر تهران می‌باشد. این امر با بهره‌گیری از تکنیک‌های داده‌کاوی از قبیل مدلسازی با سری زمانی و رگرسیون صورت می‌پذیرد.

در این پایان‌نامه با تحلیل توصیفی تخلفات سرعت غیرمجاز ۵ بزرگراه پرتردد و شریانی شهر تهران، سیر تخلفات را همراه با تعداد دوربین‌های فعال در آنها مورد بررسی قرار می‌دهیم. در بخش تحلیل استنباطی، بزرگراه‌های تهران کرج و همت را که در تحلیل توصیفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، با مدلسازی سری زمانی و مدل غیرخطی توانی رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. در بررسی داده‌های ارزیابی، مدل‌های برازش شده با سری زمانی از خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی معادل خود برخوردار بودند. در پیش‌بینی صورت گرفته برای سال ۹۳ میزان تخلفات بزرگراه تهران کرج به میزان ۳۲٪ و بزرگراه همت به میزان ۲۸٪ نسبت به تخلفات ماه‌های نظیر خود در سال ۹۲ کاهش داشته است، این نشان دهنده سودمندی دوربین‌ها در بازه مورد بررسی در این بزرگراه‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: داده‌کاوی، پیش‌بینی ترافیک، سری زمانی، رگرسیون، دوربین ثبت تخلف.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: معرفی و کلیات تحقیق
۳	۱-۱-مقدمه
۴	۲-۱-بیان مسئله
۵	۳-۱-اهداف تحقیق
۶	۴-۱-ضرورت و اهمیت تحقیق
۷	۵-۱-روش تحقیق
۷	۱-۵-۱-نحوه جمع آوری داده و اطلاعات تحقیق
۷	۱-۵-۲-مدل تحلیلی تحقیق
۸	۱-۵-۳-پیش فرضیات تحقیق
۹	۱-۵-۴-قلمرو زمانی و مکانی تحقیق
۱۰	۱-۵-۶-تعاریف و اصطلاحات
۱۱	فصل دوم: ادبیات و پیشینه تحقیق
۱۳	۱-۲-مقدمه
۱۴	۲-۲-سیستم های هوشمند حمل و نقل
۱۴	۲-۲-۱-تعریف
۱۵	۲-۲-۲-دستاوردهای مورد استفاده
۱۵	۲-۲-۲-۱-کاهش تصادفات
۱۵	۲-۲-۲-۲-کاهش تراکم ترافیک
۱۶	۲-۲-۲-۳-اطلاع رسانی لازم به رانندگان
۱۶	۲-۲-۳-هدف از بکارگیری فن آوری های ITS
۱۶	۲-۲-۴-انواع تخلفات ترافیکی
۱۷	۲-۲-۵-انواع فناوری های نوین برای تشخیص تخلفات ترافیکی
۱۸	۲-۳-دوربین های کنترل سرعت
۱۹	۲-۳-۱-انواع دوربین های سرعت سنج
۱۹	۲-۳-۱-۱-سرعت سنج استقرار
۲۰	۲-۳-۱-۲-سرعت سنج دستی و خودروئی
۲۱	۲-۳-۱-۳-سرعت سنج های ترکیبی
۲۱	۲-۳-۳-نقش سرعت غیرمجاز بر افزایش تلفات جاده ای
۲۲	۲-۳-۴-تأثیر دوربین های کنترل سرعت بر کاهش تلفات جاده ای در ایران و سایر کشورها
۲۳	۲-۴-داده کاوی
۲۳	۲-۴-۱-تکنیک های داده کاوی
۲۵	۲-۴-۳-مراحل داده کاوی
۲۶	۲-۵-سری های زمانی
۲۶	۲-۵-۱-تعریف سری زمانی
۲۷	۲-۵-۲-کاربردهای سری زمانی

	۲-۵-۳- اهداف تجزیه و تحلیل با سری های زمانی
۲۸	۲-۵-۴- اجزای تشکیل دهنده سری زمانی
۲۹	۲-۵-۵- ایستایی در سری های زمانی
۲۹	۲-۵-۵-۱- ایستایی در میانگین
۳۰	۲-۵-۵-۲- ایستایی در واریانس
۳۰	۲-۵-۶- همبستگی بین مشاهدات سری زمانی
۳۱	۲-۵-۶-۱- خود همبستگی
۳۱	۲-۵-۶-۲- خودهمبستگی جزئی
۳۱	۲-۵-۷- مدل های احتمالی سری زمانی
۳۲	۲-۵-۷-۱- مدل های غیر فصلی
۳۳	۲-۵-۷-۲- مدل های فصلی
۳۴	۲-۵-۸- پیش بینی با سری های زمانی
۳۵	۲-۵-۸-۱- اندازه گیری خطای پیش بینی
۳۷	۲-۶-۶- پیشینه تحقیق
۳۷	۲-۶-۱- پیشینه داخلی
۳۹	۲-۶-۲- پیشینه خارجی

فصل سوم: روش تحلیل تحقیق

۴۱	۳-۱- مقدمه
۴۳	۳-۲- متغیرهای مورد استفاده در تحقیق
۴۴	۳-۳- مراحل داده کاوی در تحقیق
۴۶	۳-۴- روش های پیش بینی
۴۶	۳-۴-۱- مدل سازی سری های زمانی به روش باکس-جنکینز
۴۶	۳-۴-۱-۱- استراتژی مدل سازی
۴۷	۳-۴-۱-۲- تشخیص مدل آزمایشی
۵۰	۳-۴-۱-۳- تخمین پارامترهای مدل
۵۰	۳-۴-۱-۴- بررسی مناسبت مدل
۵۳	۳-۴-۱-۵- پیش بینی
۵۴	۳-۴-۱-۶- مقادیر گمشده و درونیابی آنها در سری زمانی
۵۴	۳-۴-۲- مدلسازی با رگرسیون
۵۵	۳-۴-۳- همبستگی
۵۵	۳-۴-۴- پیش فرض های رگرسیون
۵۷	۳-۴-۵- رگرسیون خطی چندگانه
۵۷	۳-۴-۶- رگرسیون غیر خطی

فصل چهارم: مدلسازی و تحلیل های آماری تحقیق

۵۹	۴-۱- مقدمه
۶۱	۴-۲- تحلیل توصیفی تخلفات سرعت غیرمجاز
۶۲	

۶۶	۴-۲-۱- بررسی سیر تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه‌ها به تفکیک سال و ماه
۶۷	۴-۲-۲- بررسی سیر تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک بزرگراه‌ها
۶۸	۴-۲-۱- بزرگراه تهران کرج
۶۹	۴-۲-۲- بزرگراه همت
۷۱	۴-۲-۳- بزرگراه نیایش
۷۲	۴-۲-۴- بزرگراه حکیم
۷۲	۴-۲-۵- بزرگراه یادگار
۷۳	۴-۲-۳- بررسی فراوانی تعداد تخلفات به تفکیک نوع کاربری وسیله نقلیه
۷۵	۴-۲-۴- بررسی تاثیرپذیری افزایش جریمه‌ها بر تخلفات سرعت غیرمجاز
۷۶	۴-۲-۱- بررسی تاثیرگذاری افزایش تعرفه جریمه‌ها بر رانندگان وسائل نقلیه سبک و سنگین
۷۶	۴-۳- تحلیل استنباطی تخلفات سرعت غیرمجاز
۷۶	۴-۳-۱- همبستگی
۷۷	۴-۳-۲- مدل‌سازی متغیر تخلفات و تردها با سری‌زمانی به تفکیک هر بزرگراه
۷۸	۴-۳-۱- بزرگراه تهران کرج
۸۲	۴-۳-۲- بزرگراه همت
۸۴	۴-۳-۳- تحلیل اجزاء سری‌زمانی مدل تخلفات و تردها به تفکیک هر بزرگراه
۸۴	۴-۳-۱- بزرگراه تهران کرج
۸۶	۴-۳-۲- بزرگراه همت
۸۸	۴-۳-۴- بدست آوردن نسبت تخلفات بر تردها و میانگین تعداد دوربین‌ها به تفکیک هر بزرگراه
۸۸	۴-۳-۱- بزرگراه تهران کرج
۸۹	۴-۳-۲- بزرگراه همت
۹۰	۴-۳-۵- ارزیابی و پیش‌بینی مدل سری‌زمانی تخلفات در بزرگراه‌های تهران کرج و همت
۹۱	۴-۳-۶- مدل‌سازی رابطه تخلفات با میزان تردها و میانگین دوربین‌ها با روش رگرسیون به تفکیک بزرگراه‌ها
۹۱	۴-۳-۱- کنترل پیش فرض های رگرسیون
۹۴	۴-۳-۲- برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون برای بزرگراه تهران کرج
۹۶	۴-۳-۳- برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون برای بزرگراه همت
۹۷	۴-۳-۴- ارزیابی مدل رگرسیون تخلفات در بزرگراه‌های تهران کرج و همت
۹۹	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۰	۵-۱- ارزیابی نتایج تحلیل توصیفی ۵ بزرگراه تحقیق
۱۰۱	۵-۲- مقایسه تحلیل استنباطی سری‌زمانی با رگرسیون به تفکیک هر بزرگراه
۱۰۴	فهرست منابع

لیست اختصارات:

ITS: Intelligent Transportation Systems

MAD: Mean Absolute Deviation

MAPE: Mean Absolute Percentage Error

DOT: U. S. Department of Transportation

VMS: Variable Message Sign

Who: World Health Organization

KDD: knowledge Discovery in Databases

DM:Data Mining

Crisp-Dm: Cross Industry Standard Process for Data Mining

Semma: Sample, Explore, Modify, Model and Assess

ACF: Autocorrelation Function

PACF: Partial Autocorrelation Function

ARIMA: Autoregressive Integrated Moving Average

AR: Auto Regressive

MA: Moving Average

ARMA: Auto Regressive-Moving Average

SARIMA: Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

MAPE: Mean Absolute Percentage Error

MAD: Mean Absolute Deviation

AIC: Akaike Information Criterion

SBC: Schwartz-Bayesian Criteria

VIF: Variance Inflation Factor

فهرست نمودارها:

- نمودار ۳-۱: مراحل برپاسازی سری های زمانی
نمودار ۴-۱: سیر تخلفات سرعت در بازه زمانی انتخابی
نمودار ۴-۲: میانگین تعداد دوربین های فعال در بازه زمانی انتخابی
نمودار ۴-۳: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۴: سیر میانگین دوربین های فعال در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۵: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه همت
نمودار ۴-۶: سیر میانگین دوربین های فعال در بزرگراه همت
نمودار ۴-۷: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه نیایش
نمودار ۴-۸: سیر میانگین دوربین های فعال در بزرگراه نیایش
نمودار ۴-۹: سیر تخلفات دوربین های تقاطع سعادت آباد در بازه زمانی انتخابی
نمودار ۴-۱۰: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه حکیم
نمودار ۴-۱۱: سیر میانگین دوربین های فعال در بزرگراه حکیم
نمودار ۴-۱۲: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه یادگار
نمودار ۴-۱۳: سیر میانگین دوربین های فعال در بزرگراه یادگار
نمودار ۴-۱۴: سیر تخلفات سرعت قبل از افزایش جریمه ها
نمودار ۴-۱۵: سیر تخلفات سرعت بعد از افزایش جریمه ها
نمودار ۴-۱۶: سیر تخلفات قبل از افزایش جریمه ها برای دوربین های مشترک
نمودار ۴-۱۷: سیر تخلفات بعد از افزایش جریمه ها برای دوربین های مشترک
نمودار ۴-۱۸: نمودار سیر تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۱۹: acf متغیر تخلفات در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۰: $pacf$ متغیر تخلفات در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۱: نمودارهای تجزیه و تحلیل باقیمانده ها در مدل تخلفات بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۲: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۳: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تردد در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۴: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تخلفات در بزرگراه همت
نمودار ۴-۲۵: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تردد در بزرگراه همت
نمودار ۴-۲۶: پیش بینی تخلفات با سری زمانی در بزرگراه تهران کرج
نمودار ۴-۲۷: پیش بینی تخلفات با سری زمانی در بزرگراه همت
نمودار ۴-۲۸: هیستوگرام نرمال باقیمانده های (بزرگراه تهران کرج)
نمودار ۴-۲۹: هیستوگرام نرمال باقیمانده های (بزرگراه همت)

فهرست جداول:

- جدول ۱-۱: حجم نمونه آماری مورد استفاده در پایان نامه ۱۰
- جدول ۱-۴: فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال به تفکیک سال‌ها ۶۲
- جدول ۲-۴: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک سال و ماه ۶۳
- جدول ۳-۴: جدول بررسی آزمون خی دو در بازه زمانی انتخابی ۶۵
- جدول ۴-۴: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک بزرگراه‌ها در بازه زمانی انتخابی ۶۶
- جدول ۵-۴: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک نوع وسیله کاربری ۷۳
- جدول ۶-۴: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک نوع وسیله کاربری و بررسی رابطه معناداری ۷۵
- جدول ۷-۴: جدول بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل با وابسته ۷۷
- جدول ۸-۴: نتایج آزمون همبستگی بین باقیمانده‌ها در مدل تخلفات بزرگراه تهران کرج ۸۰
- جدول ۹-۴: جدول بررسی مناسبت مدل متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج ۸۱
- جدول ۱۰-۴: بررسی مناسبت مدل متغیر تردها در بزرگراه تهران کرج ۸۲
- جدول ۱۱-۴: بررسی مناسبت مدل متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه همت ۸۳
- جدول ۱۲-۴: بررسی مناسبت مدل متغیر تردها در بزرگراه همت ۸۳
- جدول ۱۳-۴: ارزیابی مدل‌های بدست آمده برای متغیر تخلفات بزرگراه‌ها ۹۰
- جدول ۱۴-۴: نتایج برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی در رگرسیون بزرگراه تهران کرج ۹۴
- جدول ۱۵-۴: نتایج برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی در رگرسیون بزرگراه همت ۹۶
- جدول ۱۶-۴: نتایج ارزیابی مدل رگرسیون برآورد شده برای بزرگراه‌های تهران کرج و همت ۹۷
- جدول ۱-۶: خطاهای پیش‌بینی تخلفات در مدل سری‌زمانی و رگرسیون (بزرگراه تهران کرج) ۱۰۱
- جدول ۲-۶: خطاهای پیش‌بینی تخلفات در مدل سری‌زمانی و رگرسیون (بزرگراه همت) ۱۰۲

فصل اول

معرفی و کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

جایگاه حمل و نقل در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و سیاسی در جوامع برکسی پوشیده نیست. با توسعه روزافزون خودرو و نیاز به حمل و نقل گسترده که شریان هر کشور محسوب می‌شود، باید سیستم حمل و نقل کارآمدی طراحی کرد که جوابگوی نیاز جامعه بوده و حداکثر استفاده از آن برده شود، این امر هم جز با توسعه سیستم حمل و نقل هوشمند میسر نمی‌شود.

سیستم حمل و نقل هوشمند یا به اختصار ITS^۱ بکارگیری فناوری اطلاعات، برای بهبود عملکرد سیستم حمل و نقل است. سیستم حمل و نقل هوشمند با استفاده از تکنولوژی‌های نوین همانند الکترونیک، مخابرات، نرم‌افزار و سخت‌افزار باعث ارتقاء سطح ایمنی و صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌های روزمره می‌گردد. سیستم حمل و نقل هوشمند با هدف یکپارچه‌سازی اطلاعاتی که از منابع مختلف همانند سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی، دوربین کنترل سرعت، تابلوهای اعلان ترافیک و سیستم پلاک خوانی خودرو و.... بدست می‌آید، برای مدیریت و برنامه ریزی بهینه ترافیک شهری استفاده می‌شود.

استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت که بخشی از تجهیزات ITS می‌باشد به سالیان نه چندان دور برمی‌گردد. اولین بار دوربین‌های ثابت کنترل سرعت در شبکه جاده‌ای ایران اواخر سال ۱۳۸۵ در آزادراه‌های تهران قم و کرج قزوین استفاده گردید [۱].

با توجه به رابطه مستقیم بین سرعت بالای رانندگان متخلف و میزان تصادفات شهری و برون شهری می‌بایست با ابزارهایی مانند تابلوها و علائم هشداردهنده، حضور پلیس راهنمایی و رانندگی و همچنین دوربین‌های کنترل سرعت که بررسی سودمندی آن‌ها موضوع این پایان نامه است نسبت به کاهش سرعت رانندگی در راه‌ها و جاده‌ها اقدام نمود.

¹ Intelligent Transportation Systems

ساماندهی داده‌های تصادفات و تخلفات ترافیکی که نشات گرفته از نقض قوانین راهنمایی و رانندگی است، یکی از عملکردهای مهم پلیس می‌باشد. جمع‌آوری این داده‌ها زمینه را برای استفاده از ابزارهای پیشرفته تجزیه و تحلیل فراهم می‌کند، تا بتوان با تکنیک‌های کشف دانش و داده‌کاوی سیاست‌های کنترل حوادث ترافیکی را تغییر داده و با تقویت برنامه‌های پیشگیرانه، نرخ مرگ و میر را در جامعه کاهش داد.

وجود داده برای تحلیل و عملیات پلیس مورد نیاز است، چرا که برای مشخص شدن افزایش ناگهانی یک حادثه و یا جرم می‌بایستی اطلاعات مربوط به آن وجود داشته باشد، تا بتوان اقدامات موثری اتخاذ نمود. همچنین از ارتباط بین اقلام اطلاعاتی نیز، باید نتایج را استخراج نمود و برای صحت این ارتباطات از کشف دانش در پایگاه داده استفاده می‌گردد [۲].

۱-۲- بیان مسئله

برطبق اظهارات مقامات راه و شهرسازی و کنترل ترافیک کشور، نصب و راه‌اندازی دوربین‌های کنترل سرعت در اواخر سال ۹۳، دو برابر سال ۹۲ هزینه دربرداشته است و تعداد دوربین‌ها از ۴۰۰ عدد به ۱۸۸۰ تا پایان سال ۱۴۰۰ خواهد رسید. همچنین از خرداد ماه سال جاری تا پایان آبان ماه بیش از ۶ میلیون تخلف سرعت در بزرگراه‌های تهران ثبت شده است که به طور متوسط در هر بزرگراه ۱۵۰ هزار تخلف سرعت و هر دوربین ۱۸ هزار دستگاه خودروی متخلف را ثبت کرده است. این آمار و ارقام نشان‌دهنده استفاده چشمگیر از دوربین‌های کنترل سرعت به منظور کاهش تصادفات و تلفات جاده‌های برون‌شهری و بزرگراه‌های شهری می‌باشد که مسلماً نصب و نگهداری این تجهیزات هزینه‌های زیادی را دربرخواهد داشت. با استفاده از داده‌کاوی بر روی داده‌های دوربین‌های کنترل سرعت می‌توان در جهت بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی شهری اقدام نمود و تا حد زیادی در کاهش ترافیک شهری و تصادفات نقش داشت. همچنین با بررسی سری‌زمانی داده‌های دوربین‌های یک یا چندین بزرگراه نسبت به پیش‌بینی بحران ترافیک، قبل از وقوع آن و پیدا کردن راه حل مناسب اقدام

نمود. در این پژوهش با استفاده از داده‌کاوای مبتنی بر تحلیل سری‌زمانی به مدلسازی تخلفات بزرگراه‌های تهران کرج و همت پرداخته و بعد از تحلیل توصیفی از میزان کاهش یا افزایش تخلفات در بازه‌های دوره‌ای یا فصلی سال‌های قبل نسبت به پیش‌بینی تخلفات و ارزیابی مدل حاصل اقدام می‌نماییم. در نهایت برای مدل‌های سری‌زمانی، رگرسیون خطی یا غیرخطی بدست آمده خطای پیش‌بینی محاسبه می‌شود. خطاهای محاسبه شده شامل (میانگین مطلق انحراف^۱ و میانگین مطلق درصد خطا^۲) می‌باشد که با مقایسه نتایج حاصل بهترین مدل شناسایی می‌گردد.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف اصلی این پژوهش بررسی سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در کاهش تخلفات سرعت با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوای در بعضی از بزرگراه‌های تهران می‌باشد.

اهداف فرعی دیگری هم در این پایان نامه پژوهش می‌گردد:

- ۱- مدلسازی و بررسی روند فصلی و دوره‌ای در تخلفات سرعت غیرمجاز و تردد‌های بزرگراه‌ها.
- ۲- پیش‌بینی تخلفات سرعت غیرمجاز که توسط دوربین‌های ثبت تخلف بزرگراه‌ها ثبت شده اند.
- ۳- بررسی روند تخلفات قبل و بعد از افزایش تعرفه‌های جریمه‌های تخلف از سرعت مجاز.
- ۴- بررسی میزان تأثیرپذیری رانندگان وسایل سبک و سنگین قبل و بعد از اعمال افزایش تعرفه‌های جریمه.

¹Mean Absolute Deviation (MAD)

² Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

۱-۴- ضرورت و اهمیت تحقیق

عدم پیروی از قوانین راهنمایی و رانندگی و تخطی از سرعت مجاز در جاده‌های شهری و برون شهری کشور منجر به حوادث رانندگی بی‌شماری می‌گردد که تبعات آن تلفات جانی و خسارات مالی است.

در تعریف سانحه رانندگی، به حادثه ترافیک خیابانی و یا جاده‌ای اطلاق می‌شود که در آن حداقل یک وسیله نقلیه با برخورد با جسم ثابت کنار جاده، وسیله نقلیه دیگر یا عابرپیاده منجر به آسیب جانی یا خسارت مالی حداقل یک وسیله نقلیه می‌شود. آمارها نشان دهنده افزایش روز افزون سوانح رانندگی و مرگ و میر ناشی از آن در سراسر جهان است. براساس گزارش سال ۲۰۱۳ سازمان بهداشت جهانی، همه ساله بیش از یک میلیون و دویست و چهل هزار نفر در سوانح جاده‌ای کشته، و بیش از ۵۰ میلیون نفر دچار آسیب‌های جدی می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود با ادامه روند موجود تا سال ۲۰۳۰ تصادفات جاده‌ای پنجمین عامل مرگ و میر انسانها خواهد بود [۳].

علاوه بر میزان بالای صدمات جانی در تصادفات ترافیکی، خسارات مالی در تصادف روی داده قابل چشم‌پوشی نیست. به طور کلی حدود ۱ درصد از درآمد ناخالص ملی برای هزینه‌های تصادفات در بسیاری از کشورها می‌باشد که بانک جهانی بدون در نظر گرفتن سطح توسعه کشورها ۲٪ از درآمد ملی را برای تصادفات جاده‌ای در نظر گرفته است [۴]. حوادث ترافیکی هزینه‌ای در حدود ۳ درصد از تولید ناخالص ملی در ایران است و ۲۵٪ مرگ‌های غیرطبیعی در ایران مربوط به تصادفات رانندگی در ایران هستند [۵].

برطبق آماری که توسط کارشناسان پلیس راهور ارائه گردیده است ۷۰ درصد تصادفات مربوط به عوامل انسانی می‌باشند که اصلی‌ترین عامل آن، تخطی از سرعت غیرمجاز است. دوربین‌های ثبت تخلف به عنوان مهمترین ابزارکنترل سرعت در بزرگراه‌های شهری و برون‌شهری چندین سال است که

مورد استفاده قرار می‌گیرند و براساس یافته‌های پژوهش‌های مختلف جهانی و ملی تأثیر دوربین‌ها را در کاهش سرعت، علی‌رغم هزینه‌های بالای نصب، راه‌اندازی، نگهداری و انتقال دیتا آنها نمی‌توان نادیده گرفت. در تهران بزرگراه نیایش و یادگار اولین بزرگراه‌هایی بودند که در آبان ماه سال ۸۷ مجهز به دوربین کنترل سرعت شدند. بزرگراه نیایش با ۱۰ دوربین تا پایان سال ۸۷ به میزان ۳۶۲۲۰ و بزرگراه یادگار با نصب ۲ دوربین تا پایان سال ۸۷ به میزان ۲۶۳۹۹ تخلف تجاوز از سرعت مجاز را ثبت کردند.

۱-۵- روش تحقیق

۱-۵-۱- نحوه جمع آوری داده و اطلاعات تحقیق

داده‌های مورد نیاز این پایان‌نامه که شامل تخلفات بزرگراه‌های تهران و میزان ترددهای مبادی ورودی و خروجی شهر تهران می‌باشد از شرکت کنترل ترافیک و پلیس راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ تامین شده است. قابل ذکر است داده‌های در اختیار گذاشته شده بدون مشخصات خودروی متخلف بوده و اطلاعات شامل نام و محل دوربین ثبت کننده، بازه زمانی تخلف، نوع تخلف و میزان جریمه آن می‌باشد.

۱-۵-۲- مدل تحلیلی تحقیق

در این پایان‌نامه ابتدا با استفاده از نرم افزار SPSS به تحلیل توصیفی از نوسان تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه‌های تهران-کرج، همت، یادگار، نیایش و حکیم می پردازد که براساس داده‌های دوربین‌های فعال در ماه‌های نظیر در سال‌های متوالی صورت پذیرفته است.

در مرحله بعد با نرم‌فزار MINITAB به مدلسازی سری‌زمانی متغیر وابسته تخلفات و متغیرهای مستقل ترددها و میانگین تعداد دوربین‌های فعال در ماه در بزرگراه‌های تهران کرج و همت پرداخته می‌شود. با تجزیه و تحلیل مدل‌های بدست آمده الگوهای فصلی یا دوره‌ای تخلفات، ترددها شناسایی

می‌شوند. همچنین برای ارزیابی مدل فوق از داده‌های تست که در بازه بهمن ماه سال ۹۲ تا اردیبهشت ماه سال ۹۳ قرار دارند بهره گرفته می‌شود، واز بهترین مدل بدست آمده از بین سری‌زمانی و رگرسیون در ارزیابی مدل‌ها، برای پیش‌بینی تخلفات در بازه خرداد تا شهریور سال ۹۳ در هر دو بزرگراه استفاده می‌شود. در این پژوهش رگرسیون توانی غیرخطی بهترین مدل رگرسیونی از بین مدل‌های دیگر شناخته شده است که در ارزیابی نسبت به سری زمانی از قدرت کمتری برخوردار است. قابل ذکر است در ایجاد سری‌زمانی از الگوی هفتگی داده‌های تخلف و تردد استفاده شده است.

۱-۵-۳- پیش‌فرضیات تحقیق

همانطور که می‌دانیم عوامل متعددی بر رویداد تخلف در جاده‌ها و بزرگراه‌ها تأثیرگذار هستند که می‌توان به مواردی از قبیل عوامل انسانی همانند خستگی، خواب آلودگی و یا عوامل اقتصادی مانند میزان تورم و کاهش اثر جریمه‌ها که منجر به تخلف سرعت غیرمجاز رانندگان در برابر مغتنم شمردن وقت اشاره نمود. در این پایان‌نامه بر روی داده‌های آماری که از دوربین‌های کنترل سرعت مستقر در بزرگراه‌ها و ترددشمارهای بزرگراه‌های ورودی و خروجی شهر در اختیار قرار گرفته است نسبت به سودمندی این دوربین‌ها پژوهش می‌شود. فرضیه‌های دیگر هم به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفتند:

۱- مدل‌سازی تخلفات بزرگراه‌های تهران-کرج و همت براساس میزان تردهای آنها و تعداد

میانگین ماهانه دوربین‌های فعال صورت پذیرفته است.

۲- تحلیل توصیفی از نوسان تخلفات در بزرگراه‌های تهران کرج، همت، نیایش، یادگار و حکیم

در هفت ماه پایانی سال های ۹۰ الی ۹۲ صورت پذیرفت.

۳- منظور از تردد در پایان‌نامه مجموع تردد محورهای رفت و برگشت در بزرگراه‌ها می‌باشد.

۱-۵-۴- قلمرو زمانی و مکانی تحقیق

جامعه آماری مورد استفاده در این پژوهش مربوط به تخلفات بعضی از بزرگراه‌های تهران از آبان ماه سال ۸۷ تا اردیبهشت ماه سال ۹۳ و همچنین تردهای بزرگراه تهران کرج از آذرماه سال ۹۱ تا پایان سال ۹۳ و در بزرگراه همت از مردادماه سال ۹۲ تا پایان سال ۹۳ می‌باشد. در کل تعداد نمونه‌های استفاده شده از بین کل رکوردهای مشاهده شده مطابق ذیل می‌باشد:

جدول ۱-۱: حجم نمونه آماری مورد استفاده در پایان نامه

متغیرها	تعداد		موضوع
	نمونه	مشاهده شده	
۱- تخلفات سرعت غیرمجاز	۲۶۸۸۵۴۴	۱۴۰۳۶۷۳۲	تخلفات سرعت غیرمجاز
۲- حجم تردها			
۳- میانگین تعداد دوربین‌های فعال	۱۶۰۷۹۶۵۷۸	۲۰۸۸۵۸۳۷۶	حجم تردهای بزرگراه‌های ورودی و خروجی شهر

در این پژوهش با توجه به عدم وجود داده‌های تردد در بزرگراه‌هایی که در مبادی ورودی و خروجی شهر قرار ندارند و همچنین عدم فعال بودن دوربین‌ها در بعضی از ماه‌ها و حتی سال‌ها برای بزرگراه‌های متعدد، انتخاب بزرگراه‌ها را بسیار محدود نمود. با این وجود با توجه به اهمیت بزرگراه‌های پرتردد و شریانی کلانشهر تهران از قبیل بزرگراه‌های تهران-کرج، همت، نیایش، یادگار، حکیم و همچنین فعال بودن دوربین‌های این بزرگراه‌ها در اکثر ماه‌های سال، داده‌های تخلفات آنها بعد از پیش‌پردازش لازم مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۶- تعاریف و اصطلاحات:

پرکاربردترین اصطلاحات به کار رفته در این پژوهش به شرح ذیل می باشند:

داده: اطلاعات ثبت شده توسط پلیس راهور نیروی انتظامی در بانک اطلاعاتی سامانه های اجرائیات و حوادث ترافیکی کشور در مورد نقض قوانین و مقررات ترافیکی و حوادث رانندگی می باشد.

تخلفات: منظور تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه های مورد پژوهش است که شامل سرعت غیرمجاز تا ۳۰ کیلومتر بر ساعت، بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت و بیش از ۵۰ کیلومتر بر ساعت می باشد.

فصل دوم

ادبیات و پیشینه تحقیق

فصل حاضر مشتمل بر چند بخش است. در بخش اول به معرفی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند و اهمیت بکارگیری آنها در کاهش تصادفات و تلفات جاده‌ای، کاهش تراکم ترافیک و مدیریت جامع‌تر بر حمل و نقل عمومی و ناوگان حمل کالا می‌پردازیم. در همین بخش انواع فناوری‌های نوین برای تشخیص تخلفات ترافیکی جهت کاهش تخلفات و بالطبع تصادفات مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم به معرفی انواع دوربین‌های کنترل سرعت که یکی از فناوری‌های حاصل از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند است می‌پردازیم و در نهایت تأثیر دوربین‌ها بر کاهش تلفات جاده‌ای در ایران و سایر کشورها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش بعدی تعریفی از داده‌کاوی و تکنیک‌های مورد استفاده به همراه مراحل داده‌کاوی مورد بررسی قرار می‌گیرد، تا اهمیت استفاده از داده‌کاوی بر روی داده‌های حجیم سازمان‌ها از جمله شرکت کنترل ترافیک روشن و واضح گردد. در بخش چهارم به تعریف سری‌زمانی و اهداف بکارگیری آنها و همچنین انواع مدل‌های احتمالی آن می‌پردازیم. سری‌های زمانی به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های گذشته و شناسایی روند و الگوهای فصلی و دوره‌ای می‌پردازد. همچنین با سری‌های زمانی می‌توان داده‌های زمان‌های آینده را در بازه‌های زمانی بلند مدت، میان مدت یا کوتاه مدت مورد پیش‌بینی قرار داد. مسلماً هر مدلسازی جهت توصیف یا پیش‌بینی دارای درصد خطا می‌باشد. با تعریف انواع خطاهای پیش‌بینی سعی می‌کنیم در هنگام انتخاب مدل مناسب، مدلی که دارای کمترین خطا در بین شاخص‌های مورد ارزیابی است، انتخاب گردد. در نهایت به معرفی پژوهش‌ها و تحقیقاتی که در گذشته در این زمینه در ایران یا کشورهای دیگر انجام شده است می‌پردازیم و جایگاه این پژوهش را نسبت به تحقیقات انجام شده بیان می‌کنیم.

۲-۲- سیستم‌های هوشمند حمل و نقل

۲-۲-۱- تعریف

سیستم حمل و نقل هوشمند یا به اختصار ITS به کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات، برای بهبود عملکرد سیستم حمل و نقل است. ابزارهایی که در این عرصه استفاده می‌شود دارای سه مشخصه اصلی اطلاعات، ارتباطات و جمع‌آوری و تجمیع می‌باشد. جمع‌آوری، پردازش، تجمیع و عرضه اطلاعات اساس کار ITS است. در سال ۱۹۹۸ توسط انجمن حمل و نقل هوشمند آمریکا^۱ در خصوص ITS تعریفی ارائه شد به این صورت که استفاده از فناوری حمل و نقل هوشمند، باعث صرفه جویی در وقت و هزینه در زندگی روزمره مردم می‌گردد. تعریف رسمی‌تری هم در آوریل سال ۱۹۹۸ توسط اداره حمل و نقل آمریکا^۲ منتشر شد، سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، اطلاعات مربوط به جابجایی مسافر و کالا را جمع‌آوری، نگهداری، پردازش و توزیع می‌کنند [۶].

متداول‌ترین تعریفی که می‌توان از ITS ارائه کرد بدین صورت است: سیستم حمل و نقل هوشمند با استفاده و بکارگیری فناوری‌های نوین از قبیل الکترونیک، ارتباطات و سیستم‌های کنترل باعث ارتقاء سطح ایمنی، کارایی و ارزانی در حمل و نقل می‌شود. این توسعه فناوری برای شیوه‌های مختلف حمل و نقل از قبیل جاده، راه‌آهن، هوایی و دریایی قابل تعمیم است [۷].

طبق تعریف اتحادیه اروپا^۳، ITS سیستم‌هایی است که در آن از فناوری اطلاعات و ارتباطات در زمینه حمل و نقل جاده‌ای، زیرساخت، وسایل نقلیه و کاربران آنها استفاده می‌گردد. واژه ITS از سال ۱۹۹۱ در آمریکا و ژاپن و در اروپا در سال ۱۹۹۴ در کنگره جهانی ITS برای اولین بار مطرح گردید [۹،۸].

¹ Intelligent Transportation Society of America

² U. S. Department of Transportation (DOT)

³ Eu Of The European Parliament

❖ کنترل سرعت

۲-۲-۳-۳- اطلاع رسانی لازم به رانندگان

ITS قادر است به رانندگان در خصوص تاخیرات، مسدود بودن مسیر یا تراکم در مسیر خاصی پیش آگاهی داده تا راننده بتواند مسیر خود را تعیین نماید. مانند:

❖ تابلوهای پیام رسان متغیر (VMS)^۱، پیام‌های رادیویی بزرگراهی

❖ سیستم‌های تعبیه شده در بعضی از وسایل نقلیه

۲-۲-۳- هدف از بکارگیری فن آوری های ITS

اهداف کشورها در بکارگیری و توسعه تکنولوژی های ITS بهره گیری از سیستم ملی برای حرکتی ایمن، روان، سریع و اقتصادی و سازگار با محیط زیست می‌باشد [۶]. می‌توان به اهداف ITS به صورت خلاصه اشاره نمود:

۱. کمینه کردن میزان تلفات جاده‌ای و تصادفات و زمان تأخیر در کلیه راههای کشور
۲. کاهش مصرف سوخت و رساندن آن به میزان بهینه در حد کشورهای توسعه یافته
۳. بهبود کامل محیط زیست و ایجاد راههای سبز در حد کشورهای توسعه یافته
۴. ایجاد رضایت کامل در عموم مردم جامعه در حمل و نقل شهری در حد کشورهای توسعه یافته

۲-۲-۴- انواع تخلفات رانندگی

می‌توان به چندین تخلف رانندگی که در جوامع مختلف با فرهنگ ترافیکی متفاوت مشترک است،

اشاره نمود:

¹ Variable Message Sign

- ۱- تجاوز از سرعت مجاز
- ۲- سبقت غیرمجاز در راههای دوطرفه
- ۳- عبور از چراغ قرمز راهنمایی و رانندگی، عبور از محل ممنوع
- ۴- عبور وسایل نقلیه از پیاده رو
- ۵- استفاده از تلفن همراه یا وسایل ارتباطی مشابه در حین رانندگی

۲-۲-۵- انواع فناوری های نوین برای تشخیص تخلفات ترافیکی

امروزه در اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه اجرای قوانین رانندگی و نظارت بر عبور و مرورهای وسائل نقلیه با روش های سنتی و دستی دیگر میسر نمی باشد، لذا از تجهیزات و فناوری های نوین الکترونیکی بمنظور کنترل رفتارهای ترافیکی شهروندان جهت بازدارنگی از تخلفات رانندگی استفاده می شود. می توان به بعضی از فناوری های ذیل جهت تشخیص متخلفان و اعمال قانون در زمینه مدیریت ترافیک اشاره نمود [۱۱]:

- ۱- دوربین های کنترل سرعت برای شناسایی وسایل نقلیه با سرعت غیرمجاز.
- ۲- دوربین های چراغ قرمز برای شناسایی وسایل نقلیه ای که پس از قرمز شدن چراغ راهنما، از خط توقف عبور می کنند.
- ۳- شناسایی متخلفان عبور کننده از خط ویژه اتوبوس که در مسیرهای اختصاصی اتوبوس ها حرکت می کنند.
- ۴- دوربین های مسیرهای ویژه خودروهای پرسرین، برای شناسایی وسایل نقلیه ای که از الزام های اشغال فضا سرپیچی و تخلف می کنند.

۵- دوربین‌های مخصوص خطوط ضخیم و توپر ترافیکی، برای شناسایی وسایل نقلیه‌ای که این خطوط را قطع کرده و از آنها عبور می‌کنند.

۶- دوربین‌های مخصوص پرداخت هزینه‌های ناشی از تراکم برای وسایل نقلیه‌ای که در محدوده‌های خاص برای حضور در آنجا باید هزینه پرداخت کنند.

۷- دوربین‌های کنترل جایگاه‌های اخذ عوارض برای کشف و شناسایی وسایل نقلیه‌ای که بدون پرداخت وجه، از غرفه یا باجه عوارضی می‌گذرند.

۸- دوربین‌های مخصوص دور زدن در تقاطع‌هایی به کار می‌روند که به هنگام قرمز بودن چراغ راهنما، دور زدن در جاهایی خاص ممنوع است. این دوربین‌ها در شهرها یا مناطق پرجمعیت استفاده می‌شود.

۲-۳- دوربین‌های کنترل سرعت

یکی از مهمترین فاکتورهای تلفات جاده‌ای کنترل سرعت است. کنترل سرعت، اول وجود قوانین کافی و فراگیر و دیگری نظارت بر اجرای صحیح قوانین محدود کننده سرعت را شامل می‌شود.

با توجه به اهمیت کنترل سرعت در کاهش حوادث اکثر رانندگان قبل از وقوع حادثه خطر سرعت زیاد را درک نمی‌کنند و هدایت وسیله نقلیه در سرعت بالا برای آنها میسر نبوده و منجر به حادثه می‌شود. این در حالی است تصادفاتی که در سرعت پایین منجر به آسیب جزئی می‌شود، در سرعت بالا منجر به آسیب جدی جانی و مالی می‌گردد. لذا انتخاب حد سرعت مناسب یکی از پارامترهای اصلی کاهش تصادفات و تخلفات می‌باشد که با حداقل در نظر گرفتن وضعیت عمومی مسیر، حالات و رفتار ترافیکی هر کشور و وضعیت عمومی خودروها تعیین می‌شود. مهمتر از خود قانون، نظارت بر اجرای صحیح قانون است. در اجرای صحیح قوانین محدود کننده سرعت مهمترین ابزار علاوه بر حضور

پلیس، نصب سرعت‌سنج‌های کافی در مکان‌های مناسب است که بصورت مستمر در هر شرایط جوی سرعت را کنترل و ثبت نمایند.

۲-۳-۱- انواع دوربین‌های سرعت‌سنج

سرعت‌سنج‌ها را از دید کلی می‌توان به دو دسته استقراری و غیر استقراری تقسیم نمود. سرعت‌سنج‌های استقراری در محل ثابتی در جاده‌های برون شهری و معابر شهری نصب می‌شوند ولی سرعت‌سنج‌های غیر استقراری به صورت دستی یا خودرویی در کنار جاده یا در خودروی پلیس قابل استفاده است.

۲-۳-۱-۱- سرعت‌سنج استقراری

دوربین‌های استقراری به دوربین‌هایی اطلاق می‌شود که به صورت ثابت در محلی که جانمایی شده است قرار دارند. محل استقرار دوربین‌های ثابت تخلفات سرعت استقراری یک فاکتور مؤثر در کاهش تصادفات جاده‌ای است. سرعت‌سنج‌های استقراری با سه تکنولوژی راداری، لوپ و ویدئویی استفاده میشوند که هر یک کاربرد خاص خود را دارند.

دوربین‌های سرعت‌سنج راداری بیشتر در جاده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و امروزه در کشورهای صنعتی به صورت گسترده برای ثبت تخلفات سرعت بکار گرفته می‌شوند. این دوربین‌ها با استفاده از پدیده داپلر که یکی از اصول الکترودینامیک است و امواج رادیویی سرعت خودرو را می‌سنجند. در سرعت‌سنج‌های راداری از چند سنسور راداری (یک سنسور به ازای هر باند) استفاده می‌شود. که هر کدام به منظور تعیین و تفکیک سرعت لحظه‌ای خودروهایی که به صورت همزمان بر روی باندهای مختلف در حال حرکت هستند، استفاده می‌شود [۱۳].

در سرعت سنج‌های لوپی در ابتدا کف اتوبان کنده می‌شود و حسگر مغناطیسی (لوپ) در آن قرار می‌گیرد. با عبور خودرو از روی این حسگر باعث تغییر در میدان مغناطیسی می‌گردد که منجر به القای جریان در لوپ می‌شود. شدت جریان توسط آمپرسنجی که به لوپ متصل است اندازه‌گیری شده و با استفاده از تغییرات جریان سرعت خودرو بدست می‌آید.

اساس کار سرعت‌سنج‌های ویدئویی عکسبرداری‌های متوالی است. در دوربین‌های راداری در ابتدا سرعت خودرو محاسبه می‌شود. در صورت بروز تخلف تصویر خودرو و پلاک آن ثبت می‌گردد که عملاً خطای عکسبرداری و پردازش تصویر در محاسبات نقش اصلی را ندارد. اما در سرعت‌سنج‌های ویدئویی در ابتدا عکسبرداری‌های متوالی از خودرو در حال حرکت صورت گرفته و بعد سرعت آن محاسبه می‌شود. سرعت‌سنج‌های ویدئویی مشکلات اساسی در تشخیص دقیق تعداد خودرو و محاسبه سرعت دقیق دارند، تشخیص سرعت با محاسبه تغییرات ابعاد خودرو، اندازه پلاک و قدرت تابشی هدف در فریم‌های متوالی تعیین می‌شود. تغییرات محیط از قبیل وجود گرد و غبار، مه، برف و باران یا حتی وجود ماشین‌هایی که در شامگاه و صبحگاه با نور کم، نور زیاد و یا حتی چراغ خاموش با هم در حال حرکتند باعث تغییر در محیط عکسبرداری در فریم‌های متوالی می‌شود. تغییرات محیط باعث می‌شود ابعاد خودرو بین فریم‌های متوالی غیر واقعی محاسبه شود. برابر اصول فیزیک این امکان وجود دارد که خودروئی را که با سرعت ۷۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند سرعت‌سنج ویدئویی با محاسبات اشتباه، عکس این خودرو را با ۲۰۰ کیلومتر در ساعت بگیرد [۱۶].

۲-۳-۱-۲- سرعت‌سنج دستی و خودروئی

سرعت‌سنج دستی متداول از نوع لیزری و راداری است، سرعت‌سنج‌های خودروئی راداری و ویدئویی هستند. عموماً از سرعت‌سنج‌های دستی لیزری برای خیابان‌ها و مسیرهای پرتردد است و از سرعت‌سنج‌های راداری دستی برای مسیرهای خلوت و جاده‌ها استفاده می‌شود. سرعت‌سنج‌های

خودروئی ویدئویی می‌توانند تمام خودروهای عبوری در فاصله ۱۰ تا ۱۱۰ متری که اختلاف سرعت آن‌ها با خودروی پلیس تا ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت باشد رهگیری و سرعت‌سنجی کنند [۱۴].

۲-۳-۲-۳- سرعت‌سنج‌های ترکیبی

ضرورت مطرح شدن استفاده از سرعت‌سنج‌های ترکیبی، بحث بر تعیین متخلف براساس سرعت لحظه‌ای یا سرعت متوسط خودرو می‌باشد. در مکانیزم ثبت سرعت متوسط خودرو از یک دوربین ویدئویی و یک سنسور رادار استفاده شده است، با محاسبه سرعت وسایل نقلیه در ایستگاه اول و ثبت پلاک خودرو، و با در نظر داشتن فاصله دو ایستگاه متوالی سرعت میانگین وسایل نقلیه محاسبه می‌گردد [۱۵]. با توجه به معایبی که برای سرعت‌سنج‌های ویدئویی ذکر گردید اگر شرایط محیط ناپایدار باشد نمی‌توان از این سرعت‌سنج‌ها استفاده نمود زیرا دارای خطای زیادی در محاسبه سرعت دقیق خودرو می‌باشند. بنابراین در جاده‌ها بیشتر برای مسیرهای خاص مثلاً تونلها از سرعت‌سنج‌های ویدئویی استفاده می‌کنند. بهترین راه برای اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای، استفاده از سرعت‌سنج‌های راداری نسل سوم است که از دقت زیادی هم برخوردار هستند.

۲-۳-۳- نقش سرعت غیرمجاز در افزایش تلفات جاده‌ای

پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در مراکز تحقیقاتی حمل و نقل اتحادیه اروپا و سازمان ملل متحد نشان می‌دهد که عامل سرعت در ازدیاد یا کاهش ریسک تصادفات مرگبار، نقش عمده و کلیدی را دارد. با کنترل سرعت و اعمال سرعت بهینه تا ۸۵٪ از تصادفات مرگبار کاهش می‌یابد [۱۲، ۱۸]. عوامل دیگری مانند نوشیدن الکل، صندلی مخصوص بچه، کمربند ایمنی هم در تصادفات نقش دارند. مطالعات نشان می‌دهد که در هنگام قرار گرفتن رانندگان در وضعیت بحرانی زمانی که راننده باید برای مقابله با حادثه سریع اقدام کند، زمان عکس‌العمل اکثر رانندگان بین ۱/۵ تا ۴ ثانیه است. برای محاسبات ریسک تصادفات، زمان عکس‌العمل ایمن ۳ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. در صورت وقوع

تصادف خودرو با عابر پیاده با سرعت ۳۰ کیلومتر در ساعت، ریسک کشته و یا صدمه شدید عابر حدود ۱۰٪ است در حالی که در سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت به ۸۰٪ افزایش می یابد [۱۲]. با کاهش ۵٪ از سرعت میانگین ترافیک بزرگراهها، ۲۲٪ تصادفات مرگبار کاهش می یابد. در سال ۲۰۰۴ (۱۳۸۲ شمسی)، تلفات جاده‌ای به عنوان نهمین عامل مرگ انسانی بوده که تا سال ۲۰۳۰ به پنجمین عامل مرگ تبدیل می شود [۱۶].

۲-۳-۴- تأثیر دوربین‌های کنترل سرعت بر کاهش تلفات جاده‌ای در ایران و سایر کشورها

در سال ۲۰۰۴ اولین اظهارها و گزارش‌ها توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در خصوص افزایش تصادفات و تلفات رانندگی صادر شد. در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ سازمان ملل متحد ضمن انتشار نتایج مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در راستای کاهش تصادفات رانندگی، طی دو قطعنامه ۵۸/۲۸۹ و A58/L60 از تمام کشورها خواست که نسبت به کاهش تصادفات جاده‌ای توجه خاصی نمایند. متعاقباً قطعنامه های ۶۲/۲۴۴، ۶۴/۲۵۵، ۶۶/۲۶۰، ۶۸/۲۶۹، در همین زمینه بترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ صادر گردید. دهه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان دهه کاهش تلفات جاده‌ای نام گذاری گردید [۱۷].

کاهش ۳۰٪ تلفات جاده‌ای کشور فرانسه با نصب فقط ۱۰۰۰ دوربین راداری ثبت تخلفات سرعت استقرار، در سال ۲۰۰۳، نشان داد که می توان با برنامه ریزی شفاف و علمی، تصادفات جاده‌ای مرگبار را کنترل و بصورت چشمگیری کاهش داد. با توجه به سرعت بالا که مهمترین عامل در تلفات جاده‌ای است، با نصب دوربین‌های کنترل سرعت کاهش چشمگیری در تصادفات جاده‌ای مشاهده شد. طی تحقیقات مختلف نشان داده شده است در محدوده ۶ کیلومتری محل نصب دوربین راداری ثبت تخلفات سرعت نسل سوم استقراری فعال، بین ۴۰ تا ۶۵٪ از تصادفات منجر به جرح و مرگ کاسته می شود [۱۲، ۱۸]. برابر مطالعات و بررسی‌های شهرداری تهران در بزرگراه‌هایی که با رعایت اصول

¹ World Health Organization

فاصله محل نصب مجهز به دوربین راداری ثبت تخلفات سرعت نسل سوم استقرار یافته‌اند، تصادفات مرگبار تا ۸۰٪ و به طور میانگین ۶۰٪ تصادفات فوتی کاهش یافته است [۱۶].

۲-۴- داده‌کاوی

داده‌کاوی به بهره‌گیری از ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها به منظور شناسایی الگوها و روابط پنهان قابل قبول در بین داده‌های حجیم اطلاق می‌شود. با استفاده از ابزارهای داده‌کاوی می‌توان علاوه بر تجزیه و تحلیل رفتار متغیرها به پیش‌بینی مقادیر متغیرها پرداخت و رفتار آنها را در آینده پیش‌بینی و توصیف نمود [۱۹]. اصطلاح داده‌کاوی تا اوایل دهه ۹۰ مفهومی نداشت و به کار برده نمی‌شد بعد از آن پا به عرصه ظهور گذاشت و با نگرشی نو به بهره‌گیری اطلاعات از پایگاه‌داده‌ها پرداخت. اولین بار مفهوم داده‌کاوی توسط Shapir در کارگاه IJCAI در زمینه کشف دانش KDD^۱ مطرح گردید. به دنبال آن در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ کارگاه‌های KDD مفاهیم جدیدی را در زمینه داده‌کاوی DM^۲ ارائه کردند. اما اصطلاح داده‌کاوی برای اولین بار به طور رسمی توسط فایاد^۳ در اولین کنفرانس بین‌المللی کشف دانش و داده‌کاوی در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. در این سال بود که داده‌کاوی به صورت جدی وارد مباحث آمار شد [۲۰، ۲۱].

۲-۴-۱- تکنیک‌های داده‌کاوی

اهداف اولیه داده‌کاوی در دو سطح بالاتر شامل توصیف و پیش‌بینی داده‌ها بیان می‌شود [۲۱]. پیش‌بینی بر یافتن ارزش متغیر موردنظر در زمان‌های آتی متمرکز است اما توصیف بر یافتن تفسیری از الگوها در پایگاه داده می‌پردازد. جهت توصیف داده‌ها باید شناخت کافی از داده‌ها و ساختار آنها در پایگاه داده داشت و با ابزارهای تصویرسازی داده‌ها و گراف‌سازی می‌توان به شناخت اولیه مناسب

^۱ knowledge discovery in databases

^۲ Data mining

^۳ Fayyad

رسید و فرآیند آماده سازی داده‌ها را سرعت بخشید. اهداف توصیف و پیش‌بینی داده‌ها را می‌توان با روش‌های داده‌کاوی مانند زیر بدست آورد [۲۰-۲۲].

۱- کشف ترتیب^۱: به تجزیه و تحلیل توالی رویدادها می‌پردازد و مشخص می‌کند کدام رویداد، رویدادهای دیگر را پشت سر دارد. مانند خرید خودرو که منجر به بنزین زدن می‌شود.

۲- کشف وابستگی^۲: یافتن قوانینی که با هم اتفاق می‌افتند به طور مثال مراجعه به پزشک منجر به خرید دارو می‌گردد.

۳- خوشه بندی^۳: هدف تقسیم‌بندی داده‌های موجود به چندین گروه است که داده‌های هر گروه شبیه به هم و داده‌های گروه‌ها با هم حداکثر تفاوت را دارند. در ابتدای امر گروه‌ها مشخص نیستند و مشخص نمی‌باشد که براساس کدام ویژگی دسته‌بندی می‌شوند

۴- رگرسیون^۴: با استفاده از مقادیر موجود متغیرهای تأثیر گذار(پیشگو) به پیش‌بینی متغیر وابسته می‌پردازد.

۵- سری‌زمانی^۵: پیش‌بینی متغیری که مجموعه‌ای از مقادیر گذشته آن را در فواصل زمانی مساوی و منظمی در اختیار داریم.

۶- طبقه بندی^۶: هدف شناسایی ویژگی‌های گروهی است که هر مورد با گروه‌ها مقایسه شده و در صورت داشتن شرایط گروه در آن قرار می‌گیرد. از این الگو می‌توان هم برای توصیف داده‌ها و هم برای پیش‌بینی رفتار مقادیر جدید استفاده کرد. نقطه مقابل خوشه بندی است و گروه‌ها از قبل مشخص می‌باشند.

¹ Sequence discovery

² Association discovery

³ Clustering

⁴ Regression

⁵ Time Serie

⁶ Classification

۲-۴-۲- مراحل داده‌کاوی

استانداردهای مختلفی مانند CRISP-DM^۱ و SEMMA^۲ برای تعریف مراحل داده‌کاوی وجود دارد. در نظرسنجی که در سال ۲۰۰۷، ۲۰۰۴، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ از داده‌کاوان برای تعیین روش شناسی داده‌کاوی گرفته شد CRISP-DM استاندارد محبوب تری در بین آنها بوده است [۲۳].

۲-۴-۲-۱- مراحل داده‌کاوی با استاندارد CRISP-DM [۲۴]

۱- درک کسب و کار^۳: درک مناسبی از مساله را شامل می‌شود که یا مساله توسط متخصص داده‌کاوی با توجه به مطالعه از وضعیت موجود شناسایی و یا توسط کارفرما در ابتدای امر مطرح می‌گردد.

۲- درک داده‌ها^۴: در این مرحله متخصص داده‌کاوی به بررسی داده‌ها می‌پردازد تا مشکلات موجود و کشف بینش اولیه از داده‌ها بدست آید. داده‌کاو می‌تواند به عنوان یک فرضیه با مجموعه‌ای از اطلاعات موجود شروع بکار کند یا در صورت مشخص بودن صورت مسئله با شناخت بیشتر فرآیند داده‌کاوی را واقع بینانه‌تر گرداند. بین این مرحله و مرحله قبل رابطه دوطرفه برقرار است و ممکن است در مرحله دوم نیاز به اجرای مرحله اول به صورت مجدد فراهم گردد.

^۱ Cross Industry Standard Process for Data Mining

^۲ SEMMA is an acronym that stands for Sample, Explore, Modify, Model and Assess

^۳ Business Understanding

^۴ Data Understanding

۳- آماده‌سازی داده‌ها^۱: در این مرحله متخصص داده‌کاوی با انتخاب و تجمیع داده‌های مناسب پردازش، شناسایی و حذف داده‌های پرت و تبدیل داده‌ها به فرمت مناسب، داده‌های مناسب را برای ایجاد مدل مهیا می‌سازد.

۴- مدل‌سازی^۲: در این مرحله متخصص با استفاده از تکنیک‌های مختلف داده‌کاوی به مدل‌سازی می‌پردازد و با انتخاب پارامترهای مناسب مدل‌های مختلف را مورد مطالعه قرار می‌دهد. برخی از تکنیک‌ها فرم‌های خاصی از داده‌ها را برای پردازش نیاز دارند لذا ممکن است در این مرحله نیاز رجوع به مرحله قبل که آماده‌سازی داده بود وجود داشته باشد.

۵- ارزیابی^۳: در این مرحله مدل‌های ایجاد شده مورد تست و ارزیابی قرار می‌گیرند و مناسب‌ترین مدل انتخاب می‌شود.

۶- توسعه^۴: در صورتی که ارزیابی‌ها مورد تأیید باشد راه‌حل‌ها در قالب توسعه‌ی مدل نهایی که صورت مساله مرحله اول را حل کرده است عنوان می‌گردد.

۲-۵- سری‌های زمانی

۲-۵-۱- تعریف

سری‌زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات پی‌درپی در طول زمان است. این مشاهدات می‌تواند به‌طور مداوم و پیوسته در طول زمان ایجاد شده باشد یا به صورت یک مجموعه گسسته از زمان باشد [۲۵]. در تعریفی دیگر داریم: سری‌های زمانی زیرشاخه‌ای از آمار و احتمالات و مجموعه‌ای از مشاهدات

¹Data Preparation

²Modeling

³Evaluation

⁴Deployment

هستند که برحسب زمان مرتب شده‌اند. زمان در سری‌زمانی با توجه به نوع متغیر مورد بررسی می‌تواند روز، هفته، ماه و یا سال باشد [۲۶، ۲۷]. روش‌های تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی و شناسایی مدل مناسب برای پیش‌بینی داده‌های آتی مهمترین قسمت آماری این مبحث را تشکیل می‌دهد.

۲-۵-۲- کاربردهای سری‌زمانی

سری‌های زمانی یکی از شاخه‌های علم آمار و احتمالات می‌باشند که در علوم مختلف مانند اقتصاد، هواشناسی، کشاورزی، جمعیت‌نگاری، پزشکی، مهندسی ارتباطات و مهندسی ترافیک و... استفاده می‌شود. سری‌زمانی در اقتصاد، مانند تحلیل و پیش‌بینی قیمت سهام، صادرات محصولات، متوسط درآمد اقشار جامعه و در هواشناسی بمنظور پیش‌بینی از روند بارش و دما، کاربرد دارد. همچنین سری‌های زمانی در مهندسی ترافیک، مانند تحلیل توصیفی و پیش‌بینی روند تصادفات جاده‌ای درون شهری و برون شهری، بررسی روند تخلفات بعد و قبل از افزایش جریمه‌ها و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۵-۳- اهداف تجزیه و تحلیل با سری‌های زمانی

توصیف، تشریح، پیش‌بینی و کنترل داده‌ها از اهداف تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی محسوب می‌شوند. اما معمولاً توصیف داده‌ها با استفاده از مدل‌سازی داده‌های پیشین و همچنین پیش‌بینی مقادیر آینده از اهداف مهم سری‌های زمانی می‌باشد.

توصیف: در تحلیل سری‌زمانی به توصیف روند، الگوی فصلی و دوره‌ای و تغییرات نامنظم دنباله‌ای از مشاهدات که در طول زمان قرار گرفته‌اند می‌پردازد. ویژگی مهم داده‌های سری‌زمانی همبستگی بین داده‌ها است. لذا در صورتی که داده‌ها وابستگی بین هم داشته باشند با روش‌های تجزیه و تحلیل

سری‌زمانی الگوی فصلی و دوره‌ای از آن استخراج می‌شود. همچنین در صورت وجود تغییرات نامنظم و تصادفی در داده‌ها که مقادیر گذشته تأثیری بر روی مقادیر حال و آینده نداشته باشند، شناسایی می‌شود. مدل بدست آمده از سری‌زمانی شامل الگوهای فصلی و دوره‌ای نهفته در داده‌های پیشین می‌باشد. جهت انتخاب مدل از الگوی باکس جنکینز^۱ در این پایان نامه استفاده شده است.

پیش‌بینی: هر چند توصیف رفتار یک سری‌زمانی از لحاظ تغییرات کوتاه مدت و دراز مدت در آن یا مطالعه وابستگی‌های موجود بین عناصر سری از بررسی‌های متداولی است که روی سری‌های زمانی انجام می‌شود اما می‌توان گفت مهم‌ترین هدف از تحلیل سری‌زمانی پیش‌بینی مقادیر آینده آن است. داده‌هایی با تغییرات نامنظم برای پیش‌بینی مناسب نیستند.

۲-۵-۴- اجزای تشکیل دهنده سری‌زمانی

معمولاً برای تحلیل توصیفی یک سری‌زمانی تغییرات چهار مولفه اصلی شامل روند، تغییرات فصلی، دوره‌ای و تغییرات نامنظم مورد بررسی قرار می‌گیرند. که جداگانه هرکدام را توضیح می‌دهیم [۲۸]:

روند^۲: روند یا تمایل بلند مدت عبارت است از تغییرات متغیر مورد مطالعه بدون در نظر گرفتن تغییرات فصلی، دوره‌ای و نامنظم. به عبارت دیگر روند عبارت است از حرکات رو به پایین و بالا یک سری‌زمانی که نشان دهنده کاهش یا افزایش بلند مدت یک سری‌زمانی است.

تغییرات فصلی^۳: تغییرات فصلی تغییراتی هستند که در دوره‌های تناوبی کوتاه پیش می‌آیند. این تغییرات مربوط به عواملی هستند که به طریقی منظم و چرخه‌ای روی یک دوره کمتر از یک سال عمل می‌کنند.

^۱ Box-jenkinz

^۲ TREND

^۳ Seasonal variation

تغییرات دوره ای^۱: حرکات نوسانی در یک سری زمانی با دوره نوسان بیشتر از یک سال را تغییرات دوره‌ای می‌نامند. یک دوره کامل معمولاً ۷ تا ۹ سال طول می‌کشد.

تغییرات نامنظم^۲: در هر سری زمانی عامل دیگری وجود دارد که آن را تغییرات نامنظم یا تصادفی می‌نامند. این تغییرات کاملاً تصادفی بوده و در نتیجه پیش‌بینی نشدنی است. این گونه تغییرات، طرح معینی را نشان نمی‌دهند و دوره زمان وقوع آنها منظم نیست. تغییرات نامنظم که بعد از حذف روند و الگوی فصلی و دوره‌ای برجای می‌ماند نشان دهنده عدم وابستگی بین باقیمانده های مدل هستند. تجزیه مفهومی سری زمانی به اجزای روند، فصلی، دوره‌ای و نامنظم ما را در توصیف بیشتر سری زمانی یاری خواهد کرد.

۲-۵-۵- ایستایی در سری های زمانی

ایستایی مبحث مهمی در مدل سازی سری های زمانی است. زیرا مدل های احتمالی سری زمانی بر مبنای ایستایی مدل همراه هستند. یک سری زمانی را هنگامی ایستا یا مانا می‌نامند که میانگین و واریانس آن به زمان بستگی نداشته باشد و در طول زمان ثابت باشند [۲۸،۲۹].

مفهوم اساسی ایستایی این است که قوانین احتمالی حاکم بر فرآیند با زمان تغییر نمی‌کند و فرآیند در تعادل آماری باقی می‌ماند.

۲-۵-۵-۱- ایستایی در میانگین

چنانچه یک سری زمانی در میانگین نایستا باشد، مهمترین ابزار برای ایستا نمودن آن تفاضلی کردن سری می‌باشد. در روش تفاضل گیری هر مشاهده را از مشاهده قبلی کم می‌کنند [۳۰]. تفاضلی کردن مرتبه اول و دوم یک سری زمانی به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۸]:

¹ Cyclical variation

² Irregular variation

$$\nabla X_t = X_t - X_{t-1} \quad (1,2)$$

$$\nabla^2 X_t = \nabla X_t - \nabla X_{t-1} \quad (2,2)$$

∇ را عمگر تفاضلی می‌نامند. تفاضلی کردن مرتبه d را با $\nabla^d X_t$ نشان می‌دهند. باید دقت شود که از تفاضلی کردن زیاد بپرهیزیم زیرا تفاضل کردن بیش از اندازه نیاز علاوه بر کاهش تعداد بازه‌های مورد بررسی، باعث ایجاد همبستگی کاذب بین داده‌ها و پیچیدگی مدل می‌شود [۲۸، ۳۰].

۲-۵-۵-۲- ایستایی در واریانس

اگر به مرور زمان تغییر پذیری یک سری افزایش یابد بدین معنی است که سری‌زمانی نسبت به واریانسش ناپایستا است. ممکن است یک سری هم در میانگین و هم در واریانس ناپایستا باشد، در این صورت ابتدا باید واریانس آن را ایستا نمود. جهت پایداری واریانس می‌بایست از تبدیلات لازم از قبیل باکس-کاکس و لگاریتمی استفاده کرد. تبدیلات پایداری واریانس فقط برای داده‌های مثبت بکار می‌رود. از آنجایی که ممکن است با تفاضل‌گیری مرتبه اول و دوم مقدار بعضی از داده‌ها منفی شود، تبدیلات قبل از تفاضل‌گیری صورت می‌پذیرد. [۲۸، ۳۱].

فرمول باکس-کاکس از نوع تبدیل توانی که در سال ۱۹۶۴ توسط باکس و کاکس معرفی شده است.

$$T(X_t) = \frac{X_t^\alpha - 1}{\alpha} \quad (3,2)$$

α پارامتر تبدیل و X_t مقدار مشاهده شده در زمان و $T(X_t)$ مقدار جدید مشاهده بعد از پایداری در واریانس می‌باشد [۲۸]. در صورتی که پارامتر تبدیل یک باشد نیازی به استفاده از فرمول بالا نیست زیرا نمودار در واریانس پایدار می‌باشد [۲۶، ۳۲].

غالباً این تبدیل فقط برای ایستایی واریانس بکار نمی‌رود بلکه تقریبی برای نرمال بودن هم می‌باشد. تبدیلات لگاریتمی هم نوع دیگری تبدیل است. سری‌های زمانی که سطح سری به صورت نمایی تغییر می‌کند بهتر است از داده‌ها لگاریتم گرفته شود [۳۱].

۲-۵-۶- همبستگی بین مشاهدات سری زمانی

یکی از ویژگی‌های مهم سری‌های زمانی وابستگی بین مشاهدات متوالی است. و هدف ما از بدست آوردن روند و الگوهای فصلی و دوره‌ای بدست آوردن همان همبستگی بین مشاهدات است.

۲-۵-۶-۱- خودهمبستگی

خودهمبستگی در تأخیر k : عبارت است از همبستگی بین مشاهداتی که k واحد زمانی با هم فاصله دارند. تابع خودهمبستگی را با ACF^1 نمایش می‌دهند [۳۳].

۲-۵-۶-۲- خودهمبستگی جزئی

ضریب خودهمبستگی جزئی: همبستگی بین X_t و X_{t+k} بعد از حذف اثر متغیرهای $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_{t+k-1}$ را ضریب همبستگی جزئی می‌نامند. این تابع را که به اختصار $PACF^2$ نشان می‌دهند در تشخیص الگوهای احتمالی مولد داده‌ها استفاده می‌شود [۲۸].

۲-۵-۷- مدل‌های احتمالی سری زمانی

مدل‌های احتمالی که به سری برازش داده می‌شود باید بتواند به نحو مناسبی مشاهدات سری را مدل سازی کند. برای بررسی این که آیا یک مدل احتمالی واقعا توصیف کننده داده‌ها است یا خیر، می‌توان خطاهای پیش‌بینی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

یکی از معروف‌ترین مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی سری‌های زمانی مدل $ARIMA^3$ می‌باشد. به صورت ساده‌ای این مدل فرض می‌کند که سری‌زمانی به صورت خطی بوده و توزیع مشخصی دارد. مدل‌های احتمالی در دو مبحث مدل‌های فصلی و غیرفصلی دسته‌بندی شده‌اند و زیرشاخه‌های آنها

¹ Autocorrelation function

² Partial Autocorrelation

³ Autoregressive Integrated Moving Average

مدل خودرگرسیو مرتبه p $AR(p)$ ^۱، میانگین متحرک مرتبه q $MA(q)$ ^۲، خودرگرسیو میانگین متحرک $ARMA(p,q)$ ^۳، خودرگرسیو میانگین متحرک تفاضل یافته $ARIMA(p,I,q)$ و خودرگرسیو میانگین متحرک تفاضل یافته فصلی $SARIMA(p,I,q)$ ^۴ نیز معرفی شده‌اند [۳۹].

۲-۵-۷-۱- مدل‌های غیر فصلی

مدل‌هایی که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند مربوط به سری‌های زمانی غیرفصلی ایستا هستند که شامل مدل‌های خودرگرسیو، مدل میانگین متحرک و مدل مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک می‌باشند. مدل مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک که نایستا باشد با تفاضلگیری تبدیل به مدل ایستا می‌شود که به این مدل، مدل مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک تفاضلی شده می‌گویند.

• مدل خودرگرسیو مرتبه p یا $AR(p)$

این مدل از مدل‌های متداول تصادفی است و همانگونه که از نام آن مشخص می‌باشد بر روی جملات خود رگرسیون را اعمال می‌کند. ساختار اصلی آن مطابق با رابطه ۴ می‌باشد [۲۸ و ۳۳]:

$$Z_t = \varphi_1 Z_{t-1} + \varphi_2 Z_{t-2} + \dots + \varphi_p Z_{t-p} + a_t \quad (4,2)$$

φ_i : ضرایب و پارامترهای مدل AR ،

a_t : مقدار تصادفی و مستقل از زمان که هر چیز تازه‌ای که در زمان t بوسیله مقادیر گذشته نشان

داده نشده است را در مدل بیان می‌کند. a_t مستقل از Z_t ها است.

• مدل میانگین متحرک مرتبه q یا $MA(q)$

فرم عمومی مدل مطابق ذیل است [۲۸ و ۳۳]:

¹ Auro Regressive

² Moving Average

³ Auto Regressive-Moving Average

⁴ - Seasonal ARIMA

$$Z_t = \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} + a_t \quad (5,2)$$

θ_i : ضرایب و پارامترهای مدل MA هستند. a_t : فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس σ_z^2 است.

• مدل خودرگرسیو و میانگین متحرک با مرتبه p و q یا ARMA(p,q)

می‌توان این مدل را فرآیندهای مرکب نیز نامید که از ترکیب دو مدل قبلی بدست می‌آید.

فرم عمومی مدل مطابق ذیل می‌باشد [۲۸ و ۳۳]:

$$Z_t = \varphi_1 Z_{t-1} + \varphi_2 Z_{t-2} + \dots + \varphi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_q a_{t-q} \quad (6,2)$$

پارامترهای این مدل مانند مدل‌های AR و MA تعریف می‌شوند.

• مدل خودرگرسیو میانگین متحرک تفاضلی با مرتبه p و q یا ARIMA(p,I,q)

این مدل توانایی دسته‌بندی گسترده‌ای از سری‌های زمانی که نایستا هستند را دارد. با توجه به این

که در عمل بیشتر سری‌های زمانی نایستا هستند در این مدل قرار می‌گیرند که با تفاضلی کردن از

مرتبه I به سری ایستا تبدیل می‌شوند. فرم عمومی مدل به مطابق ذیل است [۲۸، ۳۰]:

$$W_t = \varphi_1 W_{t-1} + \varphi_2 W_{t-2} + \dots + \varphi_p W_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_q a_{t-q} \quad (7,2)$$

سری W_t با d مرتبه تفاضلی کردن سری اصلی بدست آمده است. پارامترهای این مدل مانند

مدل‌های AR و MA تعریف می‌شوند.

۲-۵-۷-۲- مدل‌های فصلی

در عمل بیشتر سری‌های زمانی شامل یک مولفه فصلی دوره‌ای هستند که هر s مشاهده تکرار

می‌شوند. S نشان‌دهنده طول دوره فصلی می‌باشد. حال ممکن است این مولفه اصلی در مدل

اتورگرسیو یا میانگین متحرک و یا هر دو نهفته باشد.

• فرآیند خودرگرسیون میانگین متحرک تفاضلی فصلی با مرتبه p,q یا

$$\text{SARIMA}(p,d,q)(P,D,Q)_s$$

در این فرآیند s مولفه دوره‌ای بودن هر کدام از پارامترهای مدل است. مثلاً برای داده‌های ماهانه ممکن است s=12 یا برای داده‌های فصلی که در پایان هر سه ماه مشاهدات تکرار می‌شوند s=3 باشد. این مدل به شکل عمومی زیر تعریف می‌شود [۲۸ و ۳۰]:

$$\alpha_p(A)\beta_p(A^s)w_t = \gamma_q(A)\delta_q(A^s)a_t \quad (8,2)$$

مدل فوق را یک مدل فصلی ضرب پذیر از درجه (p,d,q)*(P,D,Q)s می‌نامند. α_p و β_p به ترتیب با مرتبه p و P، γ_q و δ_q از مرتبه q و Q تعریف شده‌اند.

w_t : سری مشاهدات است که با d و D مرتبه تفاضلی کردن سری اصلی بدست آمده است.

a_t : فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس ثابت است.

۲-۵-۸- پیش‌بینی با سری‌های زمانی

پیش‌بینی یک امر منحصر به فرد در مدیریت محسوب می‌شود. زیرا براساس پیشینه یک تجربه می‌توان در تصمیم‌گیری بهتر عمل کرد. همچنین در بیشتر مواقع اثر حوادث غیرقابل پیش‌بینی در تجربه‌های پیشین قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد و می‌بایست با در نظر گرفتن آنها و داده‌های گذشته مدلی را جهت پیش‌بینی داده‌های بعد در زمان‌های آتی بدست آورد. مسلماً هر مدل برآورد شده دارای خطا می‌باشد که با برآورد میزان خطا می‌توان برای تصمیم‌گیری بهتر عمل نمود. هرچه خطای پیش‌بینی کمتر و به صفر نزدیک باشد، مدل مناسب‌تر است.

پیش‌بینی به صورت کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت صورت می‌پذیرد. مدت زمان پیش‌بینی در کوتاه مدت معمولاً بین ۱ تا ۳ ماه، در پیش‌بینی‌های میان مدت معمولاً بین ۳ تا ۲ سال و در بلند مدت اکثراً بیشتر از دو سال است [۳۴].

۲-۵-۸-۱- اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی

برای اندازه‌گیری دقت مدل برازش شده می‌توان از معیارهای میانگین قدر مطلق درصد خطا، میانگین قدر مطلق انحرافات، آکائیک و شاخص شوارتز استفاده نمود که آنها را معیارهای دقت^۱ می‌نامند. هرچقدر مقدار معیارهای زیر کوچکتر باشد، نشان‌دهنده مدل بهتری است.

• میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)^۲

MAPE با فرمول زیر اندازه‌گیری می‌شود [۲۸ و ۲۹]:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|}{n} * 100 \quad (9,2)$$

x_t مقدار واقعی سری‌زمانی و \hat{x}_t مقدار پیش‌بینی شده متناظر با آن می‌باشد و n تعداد مشاهدات است. خطای پیش‌بینی به صورت درصد نشان داده می‌شود. این شاخص به نسبت شاخص MAD که در ادامه معرفی می‌شود معیار مناسب‌تری می‌باشد. یکی به این دلیل که تفاوت مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی شده بر مقادیر واقعی تقسیم می‌شود و این باعث می‌شود که تحت تأثیر مقدار عددی قرار نگیرد. دوم این که می‌توان میزان دقت دو مدل که از دو داده متفاوت استفاده کردند را با هم مقایسه نمود [۲۹].

¹ Measures of Accuracy

² Mean Absolute Percentage Error

• میانگین قدر مطلق انحرافات (MAD)^۱

MAD با فرمول زیر اندازه گیری می شود [۲۸ و ۲۹]:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n} \quad (10,2)$$

x_t مقدار واقعی سری زمانی و \hat{x}_t مقدار پیش بینی شده متناظر با آن می باشد و n تعداد مشاهدات است. میانگین قدر مطلق انحرافات تصور دقیقی از مقدار خطای پیش بینی می دهد.

• شاخص اطلاعاتی آکائیک (AIC)^۲

یکی از بهترین روش های اندازه گیری خطا معیار AIC می باشد که با فرمول زیر اندازه گیری می شود [۲۸ و ۲۹]:

$$AIC = 2K - 2 \ln(L) \quad (11,2)$$

پارامتر K بیانگر تعداد بازه های زمانی مورد نظر برای پیش بینی و L مقدار حداکثر درست نمایی است. مدل بهتر مدلی است که کمترین مقدار AIC را داشته باشد [۲۸].

• شاخص شوارتز یا بیزین (SBC)^۳

با فرمول زیر اندازه گیری می شود [۲۹]:

$$SBC = K \ln(n) - 2 \ln(L) \quad (12,2)$$

در این روش پارامتر K بیانگر تعداد بازه های زمانی پیش بینی شده و n تعداد بازه های زمانی مشاهده شده و L مقدار حداکثر درست نمایی است.

¹ Mean Absolute Deviation

² Akaike information criterion

³ Schwartz-Bayesian criteria

۲-۶- پیشینه تحقیق

۲-۶-۱- منابع داخلی:

پژوهش‌ها و مطالعاتی تاکنون در مورد ارزیابی عملکرد دوربین‌های ثبت تخلف و نقش بازدارندگی آنها در کاهش تخلفات در ایران و کشورهای دیگر صورت گرفته است. در این پژوهش‌ها با استفاده از سری‌زمانی یا رگرسیون به مدل‌سازی داده‌های پیشین و پیش‌بینی میزان تخلفات یا تصادفات در ماه‌های آینده پرداختند. اما در این پژوهش علاوه بر تشریح و مدل‌سازی با سری‌زمانی متغیر تخلفات و عوامل موثر بر آن مانند (حجم تردها و میانگین تعداد دوربین‌ها در ماه) به بررسی تأثیرگذاری آنها بر یکدیگر هم پرداخته شده است. با توجه به این که سری‌زمانی به صورت خطی مدل‌سازی می‌گردد، در این پژوهش متغیرهای مرتبط به صورت رگرسیون غیرخطی هم مدل‌سازی می‌شوند تا بهترین مدل جهت پیش‌بینی انتخاب شود. همچنین سعی شده است بر روی بزرگراه‌هایی که از نظر موقعیتی در تهران پراکنده‌اند تحقیق شود تا نگاه جامع‌تری بر روند میزان تخلفات و بررسی سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف در سال‌های مورد بررسی داشت.

در ذیل به نمونه مطالعات داخل کشور اشاره می‌گردد:

۱- بررسی نقش بازدارندگی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت نصب شده در آزاد راه زنجان-تبریز. در این روش با استفاده از تحلیل‌های آماری و روند تأثیر آن بر کاهش تصادفات در آینده با مدل‌سازی زمانی ARIMA کاهش $(\pm 3\%)$ در سرعت متوسط وسایل نقلیه و کاهش $(\pm 4\%)$ در تخلف سرعت مجاز نتیجه‌گیری شده است [۱۴،۳۵].

۲- بررسی تأثیر دوربین‌ها در مدیریت سرعت شبکه راه‌های استان مرکزی، که تجزیه و تحلیل آمار سامانه ترددشماری در محورهای استان مرکزی نشان‌دهنده کاهش سرعت متوسط و ۷ درصدی تخلفات سرعت غیرمجاز نسبت به سال قبل بوده است. همچنین توقف رشد

تصادفات و تلفات جاده‌ای نسبت به سال‌های قبل نشان‌دهنده سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف می‌باشد. [۳۶].

۳- در پژوهشی دیگر اثرات نصب سامانه‌های کنترل سرعت بر کاهش تصادفات بزرگراه‌های شهر تهران (شامل محور یادگار امام، شمالی-جنوبی و محور شهید همت، شرقی-غربی)، و یکی از مبادی خروجی شهر تهران (محور امام رضا) بررسی گردید و مشخص شد که در سال اول پس از نصب این سامانه‌ها، کاهش ۳۵ درصدی نرخ تصادفات را در پی داشته است [۳۷].

۴- همچنین در پژوهشی دیگر سری‌زمانی صدمات ترافیک جاده‌ای منجر به مرگ، در طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. مدل شناسایی شده $Arima(0,1,1)(0,1,1)12$ است که مدل فصلی ضربی می‌باشد. فراوانی حوادث در طول زمان با استفاده از رگرسیون پواسون برآورد شده و عواملی مانند جمعیت، میزان وسایل نقلیه تولید شده به عنوان فاکتورهای مهم در میزان صدمات ترافیک جاده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است [۳۸].

۵- کلانتری و همکاران در پژوهشی نسبت به پیش‌بینی تعداد مسافران قطار سبک شهری مشهد به روش سری‌زمانی فصلی پرداختند. با استفاده از سری‌زمانی و همچنین برآورد اثر روزهای هفته و خاص پرسفر، کم سفر و روزهای تعطیل، مدل فصلی SARIMA جهت برآورد و پیش‌بینی تعداد مسافران پیشنهاد گردید [۳۹].

۶- با روش‌های آماری دیگر همانند رگرسیون می‌توان نسبت به بررسی تأثیر متغیرهای مستقل و وابسته بر یکدیگر در داده‌ها یا پیش‌بینی متغیرها اقدام کرد. به طور مثال می‌توان به پژوهش رحیم اف و صادقی، اشاره نمود که به تعیین عوامل موثر در شدت تصادفات آزادراهی و طراحی مدل آنها (مطالعه موردی: آزادراه تهران-کرج) در سال ۱۳۸۸ پرداختند. در این پژوهش با

استفاده از معیارهای آماری و رگرسیون ترتیبی بر روی داده‌های تصادفات سال‌های ۱۳۸۴-

۱۳۸۷ توسط نرم افزار spss عوامل تأثیرگذار در شدت تصادفات بررسی گردید [۴۰].

۲-۶-۲- منابع خارجی:

تحقیقات مشابهی در این زمینه در کشورهای دیگر صورت گرفته است همانند:

۱- ارزیابی عملکرد دوربین‌های نظارتی چراغ‌های قرمز در تقاطع‌های شهری در آمریکا. اطلاعات جمع آوری شده مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ بود و با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم، خوشه‌بندی صورت پذیرفت [۴۱].

۲- Guin در پژوهش خود در سال ۲۰۰۶ با استفاده از سری‌زمانی تک متغیره به پیش‌بینی زمان مورد نیاز برای سفرهای درون‌شهری پرداخت. او جهت تست مدل شناسایی شده از داده‌های سیستم‌های تشخیص ویدئویی در شهر آتلانتا واقع در منطقه جورجیا جمهوری کرواسی استفاده کرد و با در نظر گرفتن بازه‌های شش ساعته در شبانه روز به صورت هفتگی، الگوی فصلی جهت شناسایی ساعات اوج ترافیک مشخص کرد. [۴۲]

۳- در پژوهشی دیگر که در شهر Winnipeg واقع در کانادا صورت گرفت به بررسی سودمندی برنامه حفاظتی عکس برداری از سرعت در تقاطع‌ها که منجر به تصادف می‌گردد پرداخته است. در این مطالعه با بهره‌گیری از رگرسیون لجستیک و تحلیل سری‌زمانی ماهانه بر روی تصادفاتی که در هنگام چراغ قرمز با گردش به راست و برخورد با عقب وسیله نقلیه در تقاطع‌ها روی می‌دهد و همچنین تصادفاتی که با سرعت بالا منجر به تلفات و یا خسارات مالی در سر تقاطع‌ها می‌شدند. در این تحلیل نشان داده شد که پارامترهای مدل شناسایی شده در تصادفاتی که در زمان چراغ قرمز روی می‌دهند معنادار و در مدل تصادفات مرتبط با سرعت معنادار نیستند و نتیجه‌گیری نمود با توجه

به کاهش چشمگیر تصادفات به میزان ۴۶٪ در گردش به راست بعد از اجرای طرح عکس برداری از تخلفات، این رویکرد موفق ارزیابی می‌گردد [۴۳].

۴- در پژوهشی اثر اجرای برنامه ملی چند بعدی ایمنی جاده (IMESEVI) در کشور مکزیک در شهرهای León و Zapopan،Guadalajara انجام شد. در این پژوهش با بررسی روند ومدلسازی نرخ مرگ و میر، صدمات مالی و تصادفات با سری‌زمانی ARIMA، در قبل و بعد و حین اجرای این برنامه ملی در هر سه شهر به بررسی کارایی برنامه ملی پرداخته است [۴۴].

۵- همچنین ارزیابی اثربخشی دوربین‌های سرعت‌سنج در کاهش تعداد تصادفات و افراد مجروح در جاده‌های بارسلونا با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی صورت پذیرفت که در پایان کاهش ۲۶٪ تصادفات ملاحظه گردید [۴۵].

۶- در پژوهشی دیگر با نصب دوربین‌های ثبت تخلف سرعت غیرمجاز به صورت مخفی در منطقه‌ی آزمایشی در نیوزلند در مقایسه با منطقه‌ی مشابه دیگر که دوربین‌ها به صورت آشکارا در معرض دید رانندگان قرار داشت به بررسی تأثیر دوربین‌ها در کاهش تصادفات و تلفات پرداختند [۴۶].

فصل سوم

روش تحلیلی تحقیق

۳-۱- مقدمه

در این فصل در ابتدا به معرفی متغیرهای مورد استفاده در پژوهش می‌پردازیم و دلیل انتخاب بزرگراه‌های مورد بررسی بیان می‌گردد. همچنین در بخش دوم به فرآیند داده‌کاوی در این پایان‌نامه می‌پردازیم که از استاندارد Crisp استفاده شده است. در بخش‌های بعد به معرفی مدل‌های سری‌زمانی و رگرسیون پرداخته می‌شود. با استفاده از مدلسازی باکس جنکینز، میزان تخلفات و تردها مدل می‌گردند و اجزاء سری‌زمانی آنها مورد تحلیل و بررسی و در نهایت مدل جهت پیش‌بینی میزان تخلفات مورد استفاده قرار می‌گیرد. با برآورد مدل‌های خطی و غیر خطی رگرسیون برای متغیرهای مستقل و وابسته، مدلی که بیشترین مقدار ضریب تعیین تعدیل شده¹ و آماره F را دارد و مدل رگرسیونی در آن معنادار است به عنوان مدل مناسب برآورد می‌شود.

۳-۲- معرفی متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

در این پژوهش از پایگاه‌داده‌های تخلفات رانندگی ثبت شده توسط دوربین‌های ثبت تخلف و ترددشمارهای نصب شده بر مبادی ورودی و خروجی کلانشهر تهران جهت سنجش حجم و مسائل نقلیه عبوری استفاده شده است. مسلماً تعداد دوربین‌های فعال در بزرگراه‌ها و همچنین میزان تردهای وسائل نقلیه در بزرگراه‌ها نسبت مستقیم با افزایش میزان تخلفات ثبت شده در بزرگراه‌ها دارند. هرچه تعداد دوربین‌های بیشتری فعال باشند تخلفات بیشتری را ثبت کرده و هرچه حجم تردهای وسائل نقلیه در باندهای رفت و برگشت بیشتر باشد تخلفات بیشتری روی داده و توسط دوربین‌ها ثبت و بایگانی می‌شود. البته این فرضیه در نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و همبستگی مستقیم متغیرهای تعداد دوربین‌های فعال و حجم تردها با میزان تخلفات ثبت شده مورد تأیید قرار گرفت.

¹ Adjust R Square

متغیرهای مستقل این پژوهش، تعداد میانگین دوربین‌های فعال و حجم تردها می‌باشد که در تخمین میزان تخلفات که متغیر وابسته می‌باشد، نقش دارند.

داده‌های مذکور دارای محدودیت هستند به طور مثال میزان تردها فقط در مبادی ورودی و خروجی شهر از قبیل (بزرگراه تهران-کرج، همت، امام رضا و ...) در اختیار قرار دارند. همچنین به علت عدم فعال بودن دوربین‌ها در بعضی از ماه‌ها یا سال‌ها تخلفات ثبت شده بزرگراه‌ها در بازه‌های زمانی پراکنده‌ای قرار دارند. لذا با بررسی بیشتر در دو پایگاه داده مذکور بزرگراه‌هایی که تخلفات ثبت شده آنها در بازه‌های زمانی پشت سرهم به همراه اطلاعات ترددشان در دسترس است شناسایی شدند که شامل بزرگراه‌های تهران-کرج و همت بودند. با توجه به اینکه هدف این پژوهش تحلیل سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف هست این امر در بازه‌های زمانی پیوسته صورت می‌گیرد که بتوان با استخراج روند، الگوهای فصلی و دوره‌ای به توصیف داده‌ها پرداخت. همچنین می‌توان با مدلسازی سری‌های زمانی داده‌های آتی را پیش‌بینی کرد.

علاوه بر بزرگراه‌های تهران-کرج و همت بزرگراه‌های نیایش، یادگار و حکیم بزرگراه‌هایی هستند که داده‌های دوربین‌های ثبت تخلف آنها به صورت پیوسته از نیمه دوم سال ۹۰ تا پایان اردیبهشت سال ۹۳ در اختیار قرار دارد. با مشاهده روند تخلفات در این پنج بزرگراه به تفکیک ماه‌ها و سال‌ها می‌توان اثر بازدارندگی دوربین‌ها در کاهش تخلفات رانندگی را مورد مطالعه و تحقیق قرار داد.

۳-۳- مراحل داده‌کاوی در تحقیق

در این پژوهش از استاندارد crisp که یکی از استانداردهای پرترفدار داده‌کاوان است استفاده شده است. در ابتدا با بررسی داده‌ها به درک مسئله و درک بهتری از داده‌ها دست یافتیم. محدودیت‌های موجود داده‌ها شناسایی شدند و بزرگراه‌هایی که محدودیت کمتری داشتند در بازه‌های زمانی مختلف

جهت شناسایی بهتر الگوها مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله پیش پردازش داده‌ها فیلدهای مورد نیاز پژوهش که شامل (نوع تخلف، کدبزرگراه، دوربین ثبات، روز و ماه وقوع تخلف، بازه زمانی تخلف صورت گرفته در شبانه روز، نوع کاربری وسیله نقلیه و میزان جریمه و...) از بین فیلدهای پایگاه داده برای هر بزرگراه جداگانه انتخاب شده و در بازه‌های زمانی ماهانه، هفتگی و روزانه مورد بررسی قرار گرفتند. حداقل تعداد مشاهدات در سری‌های زمانی ۵۰ تا می‌باشد [۲۸]. لذا انتخاب بازه ماهانه برای بزرگراه‌ها در بازه زمانی (نیمه دوم سال ۹۰ تا پایان اردیبهشت ۹۳) مناسب نیست. با انتخاب بازه روزانه در سری‌های زمانی روند نامنظم و تصادفی در سری مشاهده می‌گردد که استخراج الگو از آن کاری بس مشکل و تقریباً غیرممکن است. بهترین بازه زمانی بازه هفتگی است که به خوبی می‌توان سیر تغییرات را در شش ماهه اول و دوم سال مشاهده کرد.

قابل ذکر است در مرحله پیش‌پردازش داده‌ها علاوه بر جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز داده‌های پرت از سری‌های زمانی حذف و بازه‌های زمانی که فاقد داده هستند (مقادیر گمشده) شناسایی و درونیابی گردیدند. در این مرحله نیز کدگذاری‌های لازم برای داده‌های رشته‌ای جهت تحلیل نرم افزاری صورت پذیرفت. با توجه به پراکندگی داده‌ها و تعدد بزرگراه‌ها آماده سازی داده‌ها نسبتاً وقت‌گیر بود. مرحله آماده سازی داده‌ها در داده‌کاوی، فرآیند زمان‌بر و با اهمیتی است که حدوداً ۶۰ تا ۷۰ درصد زمان انجام کل فرآیند داده‌کاوی را به خوداختصاص می‌دهد [۴۷].

در مرحله بعد توسط سری‌های زمانی حجم تردد و تخلفات هر بزرگراه مدلسازی می‌شوند. همچنین با برازش مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی بهترین مدل برای هر کدام از بزرگراه‌ها شناسایی و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

در مرحله ارزیابی مدل‌های شناسایی شده، تخلفات دوربین‌ها از بهمن ماه سال ۹۲ تا پایان اردیبهشت ماه سال ۹۳ به عنوان داده‌های تست دوباره به مدل داده می‌شود. با بررسی معیار آکائیک،

معیار شوارتز-بیزین، بهترین مدل از بین مدل های مناسب شناسایی شده انتخاب می شود. بهترین مدل، مدلی است که کمترین مقدار خطاهای فوق را داشته باشد.

۳-۴-روش های پیش بینی

همانطور که در بخش (۳-۴-۲) تحت عنوان تکنیک های داده کاوی عنوان گردید رگرسیون و سری زمانی دو روش پیش بینی در داده کاوی محسوب می شوند. در این پژوهش از هر دو روش استفاده شده و نهایتاً خطاهای آنها در ارزیابی مدل های برازش شده میزان تخلفات با هم مقایسه گردیده است. مدلسازی سری های زمانی با روش باکس جنکینز صورت پذیرفته است که در ادامه مراحل کار در آن توضیح داده می شود.

۳-۴-۱-مدل سازی سری های زمانی به روش باکس-جنکینز

برای الگوی مدلسازی سری های زمانی در سال ۱۹۷۰ مدل باکس جنکینز توسط باکس و جنکینز معرفی شد و به سرعت تکامل یافت. اساس کار این مدل براساس سه مرحله ۱-تعیین مدل ۲-برآورد و آزمون پارامترها ۳-ارزیابی و بررسی مناسبت مدل می باشد [۴۸]. باکس-جنکینز یک الگوی تکراری است که می تواند مدل مناسب را شناسایی و تا انتخاب بهترین مدل ادامه پیدا کند [۱۴]. شایان ذکر است مدل های ARIMA که از روش باکس-جنکینز بدست می آیند هم بر روی مدل های ایستا و هم نایستا استفاده می گردند.

۳-۴-۱-۱- استراتژی مدل سازی

در شکل (۱-۳) تمام مراحل ساخت مدل بصورت جزء و تکراری مشاهده می‌شود. به طور مختصر می‌توان اینطور بیان کرد که جهت مدلسازی سری‌زمانی به ترتیب به حذف مولفه‌های مانا، شناسایی مدل آریمای مناسب، برآورد کردن پارامترها، تحلیل باقیمانده‌ها و ارزیابی پیش‌بینی مدل با داده‌های تست و در نهایت به پیش‌بینی تخلفات ماه‌های موردنظر پرداخته می‌شود.

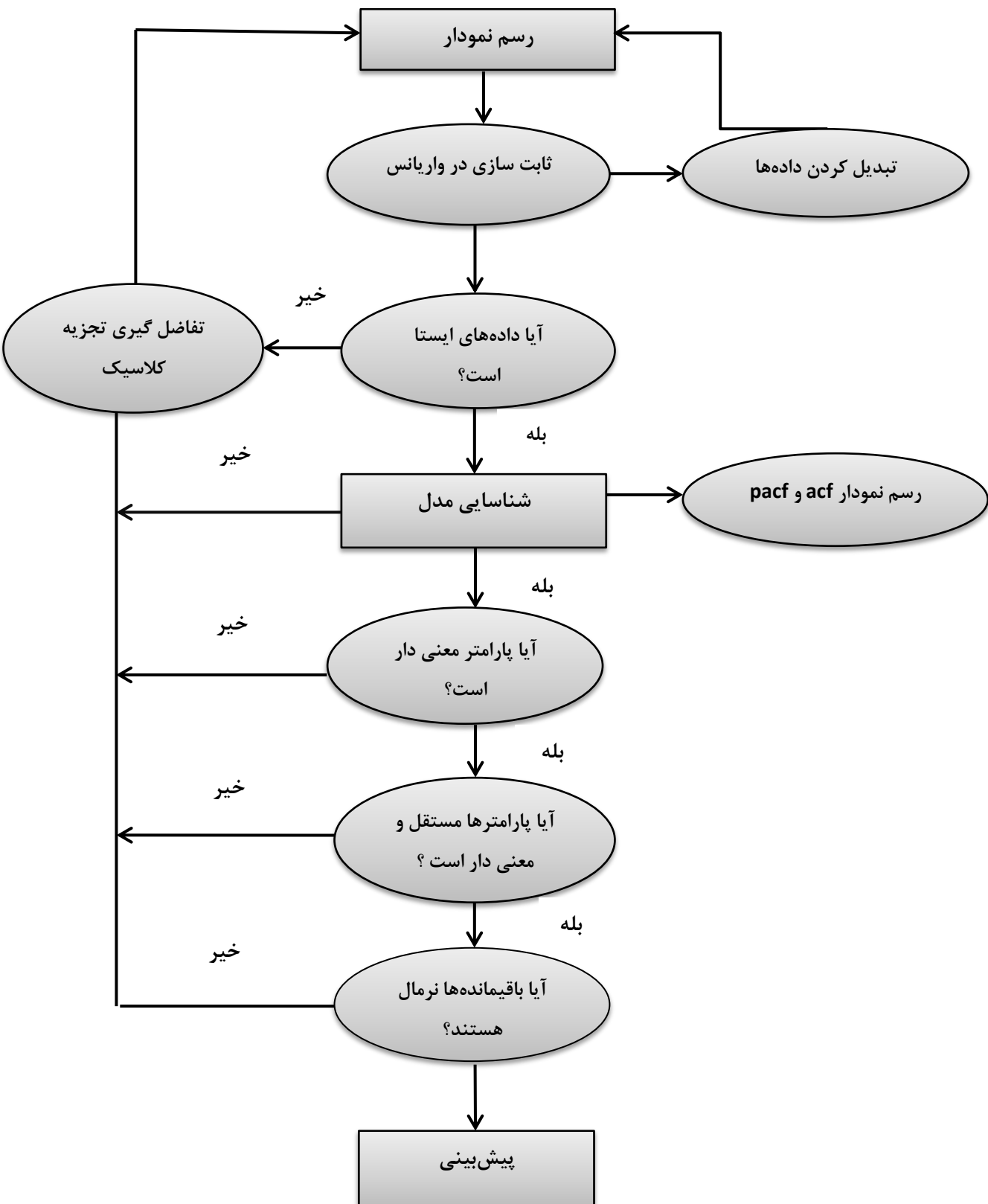
مراحل رسم نمودار، ثابت سازی واریانس و میانگین، تبدیل داده‌ها، رسم نمودارهای acf و pacf و شناسایی مدل همه مواردی است که در مرحله اول مدل‌سازی که شامل تعیین مدل می‌باشد قرار دارد. بررسی مستقل و معنادار بودن پارامترهای مدل در مرحله دوم مدل باکس جنکینز که برآورد و آزمون پارامترهای مدل است، می‌باشد. در مرحله آخر هم مناسبت مدل با تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها صورت می‌پذیرد.

۳-۴-۱-۲- تشخیص مدل آزمایشی

مرحله اول: بررسی ایستایی در واریانس

در ابتدا نمودار داده‌ها را رسم و بررسی می‌کنیم که دارای روند صعودی، نزولی یا فصلی هست یا خیر؟ اگر دارای روند باشد باید نمودار را ایستا و روند را از آن حذف کرد. منظور از ایستا کردن داده‌ها ثابت سازی در واریانس و میانگین در طول زمان می‌باشد [۲۶، ۲۸].

طبق مراحل پیاده سازی سری‌زمانی، ابتدا ثابت سازی واریانس و بعد ثابت سازی میانگین صورت می‌پذیرد. برای ثابت سازی واریانس، از تبدیل توانی باکس-کاکس که در بخش (۲-۵-۵-۲) توضیح داده شده است، استفاده می‌کنیم.



نمودار ۱-۳ مراحل برپاسازی سری های زمانی [۲۶]

مرحله دوم: بررسی ایستایی در میانگین

جهت ایستایی نمودار در میانگین از روش تفاضلی کردن استفاده می‌شود. در تفاضل یک هر داده از داده قبلی آن کم می‌شود. البته ممکن است داده‌های اولیه نیاز به d بار تفاضلی کردن داشته باشند که معمولاً d از ۲ تجاوز نمی‌کند. در این حالت هر داده از d داده قبلی خود کسر می‌شود. جهت بررسی ایستایی میانگین از نمودارهای خودهمبستگی (acf) و خودهمبستگی جزئی (pacf) که در بخش بعد مراحل رسم آن توضیح داده می‌شود، می‌توان استفاده نمود. در صورتی که نمودار acf بسیار کند کاهش یابد و نمودار pacf بعد از تاخیر یک قطع شود، لزوم تفاضلی کردن را می‌رساند.

مرحله سوم: رسم ACF و PACF نمونه‌ای

جهت تشخیص مدل می‌بایست از نمودارهای acf و pacf استفاده نمود. نمودار acf برای نشان دادن مرتبه خودرگرسیو و از نمودار pacf برای نشان دادن مرتبه میانگین متحرک استفاده می‌شود. در صورتی که نمودار acf دارای روند نزولی به سمت صفر باشد ولی نمودار pacf بعد از تأخیر p در ابتدای تابع قطع شود بیان‌گر مدل خودرگرسیو $AR(p)$ می‌باشد. برعکس حالت فوق اگر نمودار pacf دارای روند نزولی به سمت صفر باشد ولی نمودار acf بعد از تأخیر q در ابتدای تابع قطع شود بیان‌گر مدل میانگین متحرک با مرتبه p $MA(q)$ می‌باشد. اگر هر دو تابع acf و pacf دارای روند نزولی به سمت صفر باشد بیانگر مدل مرکب $ARMA(p,q)$ است. با روش‌های فوق می‌توان مدل آزمایشی را براساس نمودارهای acf و pacf تشخیص داد و برای ادامه مراحل مدلسازی از آن بهره گرفت.

پیشنهاد می‌شود که نمودارهای acf و pacf حداقل تا تأخیر $k=n/4$ محاسبه و رسم شود. N تعداد

نمونه‌ها می‌باشد [۲۸].

۳-۴-۱-۳- تخمین پارامترهای مدل

برازش مدل در واقع همان تخمین پارامترهای مدل است که بعد از معرفی مدل آزمایشی به نرم افزار بعد از اجرای روش‌های تکراری پارامترهای مدل را برآورد می‌کند و در خروجی نمایش می‌دهد. حداکثر تعداد پارامترهای برآورد شده برای هر مدل در نرم افزار Minitab، ۱۰ پارامتر می‌باشد و جهت برازش مدل ۲۵ بار الگوریتم تکرار می‌شود تا مدل داده شده برازش یابد.

۳-۴-۱-۴- بررسی مناسبت مدل

بعد از تخمین مدل و پارامترهای آن، مناسبت مدل بررسی می‌گردد. بدین منظور می‌توان از دو روش مکمل زیر استفاده کرد:

۱- تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برازش داده شده با ویژگی‌های ذیل :

* عدم همبستگی بین باقیمانده‌ها

* نرمال بودن، میانگین صفر و واریانس ثابت باقیمانده‌ها

۲- تجزیه و تحلیل مدل‌هایی که پارامتر بیشتری دارند، یعنی مدلی که کلی‌تر از مدل مشخص شده

است و این مدل را به عنوان یک حالت خاص در نظر می‌گیرد [۳۷، ۲۸].

• تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها

اگر یک مدل به درستی تشخیص داده شود، باقیمانده‌های حاصل از برازش آن مدل خواص نرمال، مستقل از هم و تصادفی را دارند که توزیع آنها با میانگین صفر و واریانس ثابت است. در نتیجه باقیمانده‌ها فاقد ساختار می‌باشند و با زمان و مقادیر برآورد شده در طول زمان بی‌ارتباط هستند. در

صورتی که ساختاری برای باقیمانده‌ها مشاهده شود نشان دهنده اثر متغیرهای دخیل در آن است. بررسی بر روی باقیمانده‌های مدل به شرح ذیل می‌باشد:

الف) بررسی فرض نرمال بودن باقیمانده‌ها: برای بررسی این فرض نمودار احتمال نرمال یا هیستوگرام باقیمانده‌ها را بررسی می‌کنیم. در صورتی که دارای توزیع خطای نرمال باشد، باید در نمودار احتمال نرمال نقاط در امتداد یک خط مستقیم قرار بگیرند. البته روی مقادیر مرکزی بر روی خط مستقیم، نسبت به کرانه‌ها بیشتر تأکید می‌شود.

ب) بررسی فرض استقلال باقیمانده‌ها: برای بررسی فرض استقلال باقیمانده‌ها می‌توان از نمودارهای acf و pacf باقیمانده‌ها استفاده نمود. چنانچه این نمودارها روند خاصی را نشان ندهند و از حدود مجاز خود تجاوز نکنند می‌توان استقلال باقیمانده‌ها را پذیرفت.

ج) بررسی فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها: برای بررسی فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها می‌بایست نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده و نمودار باقیمانده‌ها در برابر زمان را رسم کرد. اگر این نمودارها ساختار خاصی را نشان ندهند و شکل قیفی ماندنی نداشته باشند نشان دهنده ثابت بودن واریانس در باقیمانده‌ها می‌باشد.

د) رسم نمودار باقیمانده‌ها در طول زمان: در این حالت نمودار باقیمانده‌ها در برابر زمان نشان دهنده فرآیند تصادفی محض می‌باشند. علاوه بر نداشتن ساختار در نمودار که در بالا به آن اشاره شد انتظار می‌رود در اطراف سطح افقی صفر پراکندگی مستطیلی بدون روندی داشته باشند.

ر) آزمون پرت مانتو: علاوه بر تجزیه و تحلیل نموداری باقیمانده‌ها، می‌توان از طریق آزمون پرت مانتو همبستگی بین باقیمانده‌ها را مورد بررسی قرار داد. این آزمون از خودهمبستگی باقی مانده‌ها برای بررسی فرضیه صفر استفاده می‌نماید.

• برازش جامع‌تر

یک تکنیک که برای بررسی میزان مناسبت مدل می‌تواند بکار گرفته شود برازاندن بیش از حد مدل است. به این ترتیب که بعد از شناسایی مدل آزمایشی مدل عمومی تر را مورد برازش قرار می‌دهیم. زیرا در مدل عمومی‌تر پارامترهای اضافه‌تری وجود دارد که جهت‌هایی که بیم آن می‌رود انحراف در آن جهت‌ها باشد مورد آزمایش قرار می‌دهد. در صورتی مدل اصلی مورد تأیید قرار می‌گیرد که:

۱- برآورد پارامترهای اضافی تفاوت معنی داری با صفر نداشته باشد.

۲- برآورد پارامترهای مشترک با برآورد پارامترهای اولیه اختلاف معناداری نداشته باشد.

براساس مراحل فوق اگر یک یا چند مدل مناسب انتخاب شدند بعد از تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های آنها با استفاده از معیارهای آکائیک و شوارتز-بیزین درنهایت بهترین مدل مناسب انتخاب می‌گردد.

• معیار اطلاعاتی آکائیک در ARIMA

همانطور که در برازش جامع‌تر بیان گردید، زمانی که چندین مدل مناسب انتخاب شدند با استفاده از این معیار به راحتی می‌توان بهترین مدل را انتخاب نمود. معیار آکائیک بر مبنای باقیمانده‌های مدل برازش شده محاسبه می‌شود. در فصل دوم بخش (۲-۵-۸-۱-۳) فرمول اندازه‌گیری این معیار بیان شد، همان فرمول را می‌توان برای مدل ARIMA با تعداد مشاهدات n به صورت زیر نوشت [۴۹، ۲۸]:

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_e^2 + 2k \quad (1,3)$$

که σ_e^2 واریانس باقیمانده‌های مدل و $\hat{\sigma}_e^2$ برآورد ماکزیمم درست‌نمایی ماکزیمم σ_e^2 می‌باشد. در نرم‌افزار Minitab این معیار مستقیم محاسبه نمی‌شود. اما از آنجا که میانگن مجموع مربعات خطا یک برآورد ناریب برای واریانس خطا می‌باشد، می‌توان معیار آکائیک را بصورت زیر تعریف کرد [۲۸].

$$AIC = n \ln(MSE) + 2(p + q) \quad (2,3)$$

MSE میانگین مجموع مربعات خطا، n تعداد مشاهدات، p مرتبه تابع خودرگرسیون و q مرتبه تابع میانگین متحرک می‌باشد. مدلی که کمترین مقدار آکائیک را داشته باشد در نهایت انتخاب می‌شود.

• معیار اطلاعاتی شوارتز-بیزین در ARIMA

این معیار هم همانند معیار آکائیک برای انتخاب بهترین مدل استفاده می‌شود. می‌توان این معیار را در نرم افزار Minitab با فرمول زیر پیاده سازی کرد [۲۸،۲۹].

$$SBC = n \ln(MSE) + \ln(n) (p + q) \quad (3,3)$$

MSE میانگین مجموع مربعات خطا، n تعداد مشاهدات، p مرتبه تابع خودرگرسیون و q مرتبه تابع میانگین متحرک می‌باشد.

۳-۴-۱-۵-پیش‌بینی

پس از مشخص شدن مدل مناسب می‌توانیم برای پیش‌بینی رفتار آینده سری از آن استفاده نماییم. در نرم افزار Minitab این امر به راحتی میسر است و با انتخاب مدل مربوطه، در مرحله بعد انتخاب تعداد پیش‌بینی‌ها و نقطه آغاز، پیش‌بینی صورت می‌پذیرد.

۳-۴-۱-۶- مقادیر گمشده و درونیابی آنها در سری زمانی

داشتن مقادیر گمشده در بسیاری از سری‌های زمانی امری متعارف است. یکی از راه‌ها برای رفتار کردن با مقادیر گمشده در سری‌های زمانی ایستا جانشین کردن میانگین مقادیر گمشده به جای آنها است. راه دیگر جایگزینی مقادیر درونیابی شده با مقادیر گمشده یا احیاناً داده‌های پرت است. عبارت درونیابی برای فرآیند برآورد مشاهدات گمشده در سری زمانی بکار برده می‌شود. برای بدست آوردن درون‌یابهای مناسب، ابتدا باید یک مدل برای نمایش سری ایجاد و پارامترهای آن را برآورد نمود و کنترل کرد که آیا پارامترها معنی دار هستند و مدل بطور موثری نماینگر داده‌ها است یا خیر؟ [۲۹].

در نهایت از مدل بدست آمده برای اعمال بر متغیری که حاوی مقادیر گمشده است استفاده می‌گردد و می‌توان داده‌های گمشده را با پیش‌بینی تخمین زد. در مرحله بعد با جایگذاری مقادیر درونیابی شده به جای مقادیر گمشده و یا پرت، فرآیند مدلسازی سری زمانی تکمیل می‌گردد.

۳-۴-۲- مدلسازی با رگرسیون

برای اندازه‌گیری رابطه بین دو یا چند متغیر، شاخص‌های متعددی وجود دارد که همه شاخص‌ها ضریب همبستگی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کنند اما این به تنهایی کافی نیست. نیاز است که رابطه ریاضی بین متغیر وابسته و متغیر(های) مستقل نوشته شود. در صورتی که رابطه بین متغیرها معنی دار باشد می‌توان رابطه ریاضی را نوشت که با استفاده از این رابطه می‌توان مقادیر متغیر وابسته را از روی متغیر(های) مستقل پیش‌بینی نمود. رابطه ریاضی در رگرسیون می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. رگرسیون خطی ممکن است ساده یا چندگانه باشد. رگرسیون خطی ساده شامل یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل است ولی رگرسیون خطی چندگانه به ارزیابی رابطه یک متغیر وابسته و چند متغیر مستقل می‌پردازد. در این پژوهش با توجه به متغیرهای مستقل که حجم تردهای وسائل

نقلیه و میانگین تعداد دوربین‌های فعال در ماه می‌باشد، از رگرسیون خطی چند گانه در برازش بهترین مدل استفاده نموده‌ایم.

۳-۴-۳- همبستگی

تحلیل همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و شدت رابطه یک متغیر کمی بامتغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی معیار مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر می‌باشد. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱- تا ۱ است. در صورت نبود رابطه خطی مقدار آن صفر خواهد شد. ضریب همبستگی فقط روابط خطی را اندازه می‌گیرد، پس ضریب همبستگی صفر به این معنا است که بین x و y رابطه خطی وجود ندارد ولی ممکن است رابطه غیر خطی داشته باشند [۵۰].

دو نوع ضریب همبستگی داریم ضریب همبستگی اسپیرمن و ضریب همبستگی پیرسون. در این پژوهش از ضریب همبستگی پیرسون به علت نوع متغیرها که از نوع فاصله ای بود استفاده شده است. همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته در بزرگراه‌های تهران کرج و همت در فصل چهارم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۴-۴- پیش فرض‌های رگرسیون

قبل از اعمال رگرسیون می‌بایست داده‌ها دارای شرایط زیر باشند: [۵۱، ۵۳]

۱- معنی‌دار بودن متغیرها که با بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته پژوهش می‌شود.

۲- خطاها نرمال و دارای میانگین صفر باشند. بدین منظور باید مقادیر استاندارد خطاها محاسبه شود و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آنها رسم شود و سپس مقایسه ای بین دو نمودار صورت گیرد. همچنین در بررسی نرمال بودن نموداری، میزان میانگین^۱ و انحراف استاندارد^۲ خطاها گزارش می‌شود که باید به مقدار آنها به ترتیب نزدیک به صفر و یک باشد.

۳- یکی از مفروضات رگرسیون، مستقل بودن خطاها از یکدیگر است در صورتی که خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند، امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمونی به نام آزمون دوربین واتسون^۳ استفاده می‌شود.

۴- بین متغیرهای مستقل هم‌خطی وجود نداشته باشد. هم‌خطی وضعیتی است که نشان می‌دهد یک متغیر مستقل تابعی خطی از سایر متغیرهای مستقل دیگر در معادله خط رگرسیون هست یا خیر. اگر هم‌خطی در یک معادله رگرسیون بالا باشد، بدین معنی است که بین متغیرهای مستقل همبستگی بالایی وجود دارد و ممکن است با مدل دارای اعتبار بالایی نباشد. در خروجی نرم‌افزار spss با سنجش ضریب تلورانس^۴ و عامل تورم تلورانس^۵ می‌توان هم‌خطی بین متغیرها را بررسی نمود. تلورانس عددی بین ۰ تا ۱ و عامل تورم تلورانس عددی بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد.

¹ Mean

² Standard deviation

³ Durbin Watson

⁴ Tolerance

⁵ Variance Inflation Factor

۳-۴-۵- رگرسیون خطی چندگانه

گاهی دو یا چند متغیر تأثیر عمده روی متغیر وابسته دارند. در این وضعیت از رگرسیون چندگانه جهت پیش‌بینی متغیر استفاده می‌کنند. رگرسیون چندگانه فرض را بر خطی بودن متغیرها می‌گذارد. مدل اصلی رگرسیون چندگانه به صورت زیر است [۵۱]:

$$y = \alpha + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4,3)$$

در فرمول فوق y متغیر وابسته، x_i متغیرهای مستقل و α عرض از مبدأ مدل می‌باشد.

۳-۴-۶- رگرسیون غیر خطی

در رگرسیون غیرخطی ارتباط بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته به صورت خطی نمی‌باشد. ممکن است مدل از تابع لگاریتمی، نمایی، توانی، سهمی و... پیروی کند. انواع مدل‌های رگرسیونی غیرخطی در زیر آورده شده‌اند [۵۲].

جدول ۳-۱: مدل‌های رگرسیونی غیرخطی متداول

Exponential regression	$Y = \alpha e^{\beta X}$	Cubic regression	$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3$
S regression	$Y = \exp(\alpha + \beta/x)$	Compound regression	$Y = \alpha \beta^X$
Quadratic regression	$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X^2$	Logarithmic regression	$Y = \alpha + \beta \ln X$
inverse regression	$Y = \alpha + \beta / X$	Power regression	$Y = \alpha X^\beta$

فصل چهارم

مدلسازی و تحلیل های آماری تحقیق

۴-۱- مقدمه

این فصل برپایه تحلیل توصیفی و استنباطی از تخلفات سرعت غیرمجاز و همچنین متغیرهای تأثیرگذار در آن که از لحاظ آماری در این پژوهش قابل بررسی‌اند، قرار دارد. در تحلیل توصیفی تخلفات بزرگراه‌های تهران کرج، همت، نیایش، حکیم و یادگار را به تفکیک ماه و سال به طور کلی و همچنین به تفکیک هر بزرگراه مورد بررسی قرار می‌دهیم. در کنار نوسان متغیر تخلفات اثر کاهش و افزایش میانگین تعداد دوربین‌های فعال مورد بررسی قرار می‌گیرند تا بتوان توصیف جامع‌تری بر روی سیر تخلفات در بازه زمانی مورد نظر داشت.

با توجه به افزایش تعرفه جریمه‌ها در دی ماه سال ۹۰، سیر تخلفات را در سه ماه قبل و بعد از آن مورد بررسی قرار می‌دهیم تا دریابیم افزایش جریمه‌ها باعث کاهش تخلفات در بازه زمانی مذکور شده است یا خیر؟ همچنین بررسی می‌شود این امر بر روی رانندگان وسائل نقلیه سبک تأثیرگذارتر است یا رانندگان وسائل سنگین.

در تحلیل استنباطی با بررسی رابطه همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته در ابتدای امر، شرایط لازم را برای محاسبات آماری و مدلسازی مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه با استفاده از مدلسازی سری‌زمانی متغیر تخلفات و تردها سعی می‌کنیم عناصر سری‌زمانی را در هر مدل شناسایی کرده تا در پیدا کردن الگوهای فصلی و روند افزایشی-کاهشی تخلفات در طول زمان از آنها بهره ببریم. قابل یادآوری است تحلیل استنباطی بر روی داده‌های تخلفات و تردهای بزرگراه‌های تهران کرج و همت صورت می‌پذیرد. در مرحله بعد مدل سری‌زمانی تخلفات بدست آمده به تفکیک هر بزرگراه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و خطای پیش‌بینی در آن مشخص می‌گردد. در مرحله آخر هم به ارزیابی مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی با متغیرهای موجود می‌پردازیم تا مناسب‌ترین مدل رگرسیون برای هر بزرگراه انتخاب گردد. و همانند مدلسازی با سری‌زمانی، ارزیابی از مدل‌های انتخابی صورت می‌پذیرد.

۴-۲- تحلیل توصیفی تخلفات سرعت غیرمجاز

در این بخش از پایان نامه به تحلیل توصیفی از فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز پنج بزرگراه عنوان شده در مقدمه به تفکیک ماه، سال و همچنین بزرگراه‌ها می‌پردازیم. اثر افزایش و کاهش فراوانی تخلفات را در کنار نوسانات تعداد دوربین‌های فعال در هرکدام مورد بررسی قرار می‌دهیم. آماره‌های توصیفی مورد استفاده در این پایان نامه جداول، نمودار، فراوانی و با استفاده از آزمون خی دو اختلاف بین فراوانی تخلفات در سال‌های مورد پژوهش ارزیابی می‌شود تا مشخص گردد آیا ارتباط معناداری بین آنها وجود دارد یا خیر؟.

۴-۲-۱- بررسی سیر تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه‌ها به تفکیک سال و ماه

در این بخش فراوانی تخلفات به صورت کلی به تفکیک ماه و سال و همچنین در بخش‌های بعدی فراوانی تخلفات به تفکیک بزرگراه مورد بررسی قرار می‌گیرد. فراوانی تخلفات و میانگین دوربین‌های فعال پنج بزرگراه به تفکیک سال مطابق ذیل است:

جدول ۴-۱: فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال به تفکیک سال‌ها

تعداد/سال	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
تخلفات سرعت غیرمجاز	۶۲۱۹۶۶	۸۳۰۱۱۰	۷۴۵۹۵۶	۱۳۲۵۳۸
میانگین دوربین‌های فعال	۴۱	۵۶	۴۸	۴۸

براساس این جدول تخلفات از سال ۹۰ تا ۹۱ افزایش و در سال‌های ۹۲ و ۹۳ کاهش یافته است. همین سیر افزایش و کاهش هم در فراوانی دوربین‌های فعال مشاهده می‌شود. برطبق جدول فوق میزان تخلفات و دوربین‌های فعال در سال ۱۳۹۱ از بقیه سال‌ها بیشتر می‌باشد که ۳۶,۵٪ از تخلفات سال‌های فوق را به خود اختصاص داده است. سال ۹۳ هم با اختصاص ۵,۶٪ کمترین فراوانی تخلفات

را داشته است. در بررسی سالانه، ماههایی که دوربین‌ها فعال بودند مورد بررسی قرار نگرفته است. با بررسی تخلفات به تفکیک ماه و سال می‌توان ماههایی که تخلفات در آنها ثبت نشده‌اند یا دوربین‌های کمتری فعال بودند را شناسایی نمود. مسلماً با در نظر داشتن شرایط تقریباً یکسان در بزرگراه‌ها می‌توان تحلیل توصیفی جامع‌تری بر روی روند تخلفات داشت. جدول ذیل فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال را به تفکیک سال و ماه نشان می‌دهد.

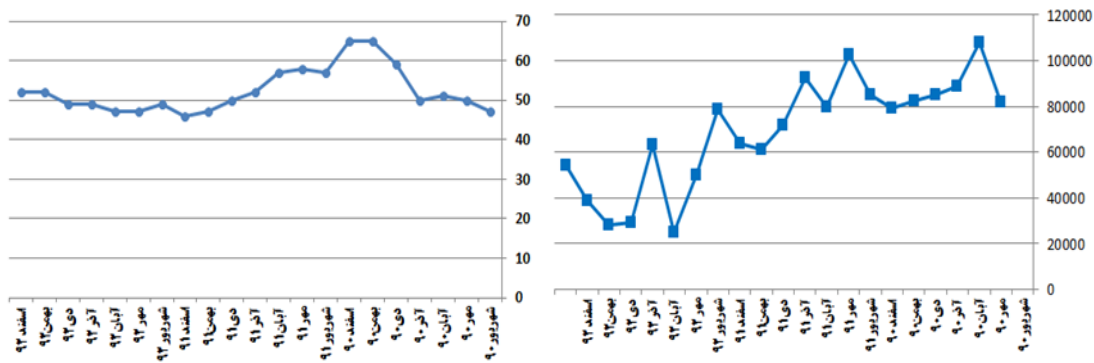
جدول ۴-۲: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک سال و ماه

ماه / سال	فراوانی	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
فروردین	تخلفات	۲	۶۱۵۲۲	۱۶۱۷۶۲	۸۸۳۶۰
	دوربین‌های فعال	۲	۶۴	۴۶	۵۰
اردیبهشت	تخلفات	-	۴۰۵۲۲	۶۸۷۵۳	۴۴۱۷۸
	دوربین‌های فعال	۰	۶۱	۴۶	۴۵
خرداد	تخلفات	۱	۷۱۵۷۹	۸۴۴۴۹	-
	دوربین‌های فعال	۱	۶۲	۴۶	-
تیر	تخلفات	۱۳۹۰	۴۰۲۲۸	۷۰۹۱۵	-
	دوربین‌های فعال	۲۲	۵۸	۴۹	-
مرداد	تخلفات	۹۴۵۸	۶۶۱۱۲	۷۱۹۱۹	-
	دوربین‌های فعال	۳۷	۶۰	۴۹	-
شهریور	تخلفات	۸۲۰۲۹	۱۰۲۴۸۳	۴۹۹۰۹	-
	دوربین‌های فعال	۴۷	۵۷	۴۹	-
مهر	تخلفات	۱۰۷۸۶۰	۷۹۷۳۱	۲۴۷۴۶	-
	دوربین‌های فعال	۵۰	۵۸	۴۷	-
آبان	تخلفات	۸۸۷۶۹	۹۲۶۷۸	۶۳۰۸۵	-
	دوربین‌های فعال	۵۱	۵۷	۴۷	-
آذر	تخلفات	۸۵۳۲۳	۷۱۹۳۶	۲۹۱۷۱	-

	۴۹	۵۲	۵۰	دوربین‌های فعال	
دی	۲۸۲۸۶	۶۰۸۹۵	۸۲۵۷۷	تخلفات	-
	۴۹	۵۰	۵۹	دوربین‌های فعال	
بهمن	۳۸۵۵۲	۶۳۹۶۴	۷۹۴۱۷	تخلفات	-
	۵۲	۴۷	۶۵	دوربین‌های فعال	
اسفند	۵۴۴۰۹	۷۸۴۶۰	۸۵۲۴۰	تخلفات	-
	۵۲	۴۶	۶۵	دوربین‌های فعال	

ادامه جدول ۴-۲

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود در سال ۹۰ تخلفات تا شهریور ماه، دارای نوسان زیادی است که خود نشأت گرفته از تغییرات در تعداد دوربین‌های فعال در این ماه‌ها است. از شهریور ماه ۹۰ شرایط تقریباً دچار ثبات می‌شود و فراوانی تخلفات و دوربین‌ها حول میانگین مشخصی قرار می‌گیرد. در جدول فوق نوسانی که در سال ۹۰ مشاهده می‌شد در سال‌های ۹۱ و ۹۲ وجود نداشته و تقریباً دارای ثبات شرایط است. همان‌طور که در فصل اول (۱-۵-۴) عنوان گردید داده‌های تخلفات تا پایان اردیبهشت ماه سال ۹۳ در اختیار این پژوهش قرار گرفته است. لذا بررسی ماهانه تخلفات در سال مذکور دچار محدودیت می‌باشد. همچنین با در نظر داشتن تغییرات حجم تردها در فصل‌های مختلف سال و تأثیر آن بر روی فراوانی تخلفات، مناسب است ماه‌های نظیر به نظیر از هر سال انتخاب کردند. لذا بهترین بازه زمانی برای بررسی روند تخلفات، هفت ماه آخر سال‌های ۹۰ تا ۹۲ می‌باشد. با این پیش‌پردازش و انتخاب داده‌ها سعی کرده‌ایم مقایسه بین سال‌های پژوهش تقریباً در شرایط یکسانی صورت پذیرد. در نمودارهای ذیل سیر روند تخلفات و میانگین دوربین‌های فعال در بازه زمانی انتخابی مذکور درج شده است:



نمودار ۴-۲: میانگین تعداد دوربین‌های فعال در بازه زمانی

نمودار ۴-۱: سیر تخلفات سرعت در بازه زمانی انتخابی

انتخابی

همان‌طور که در نمودار (۴-۱) مشاهده می‌شود تخلفات در بازه زمانی انتخابی دارای شیب نزولی می‌باشند. سیر نزولی تخلفات با توجه به نوساناتی که در ابتدای نمودار (۴-۲) مشاهده می‌شود وسیع‌تر می‌گردد. آن از دی ماه ۹۱ تا پایان بازه زمانی، گواهی بر کاهش میزان تخلفات در سه سال اخیر می‌باشد. که این کاهش می‌تواند دلیلی بر سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در کاهش تخلفات باشد. همچنین با استفاده از آزمون خی دو تفاوت بین فراوانی تخلفات هر ماه در سه سال مورد بررسی قرار گرفت که آیا دارای رابطه معناداری می‌باشد یا خیر؟. جدول ذیل وجود رابطه معنادار بین تفاوت فراوانی تخلفات جدول (۴-۲) از شهریور ماه تا اسفند ماه سال های ۹۰ تا ۹۲ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳: جدول بررسی آزمون خی دو در بازه زمانی انتخابی

ماه خی دو	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
مجذور خی دو	۲۲۳۴۵۶	۲۱۲۳۳۶	۲۴۴۵۳۲	۱۸۶۴۲۹	۱۷۱۷۵۸	۴۷۰	۱۸۹
درجه آزادی	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
سطح معنا داری	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱

۴-۲-۲- بررسی سیر تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک بزرگراه‌ها

در بخش قبل تخلفات و تعداد دوربین‌ها را به صورت کلی در پنج تا بزرگراه (تهران-کرج، همت، نیایش، حکیم و یادگار) به تفکیک سال و ماه مورد بررسی قرار دادیم و نتیجه گرفتیم با توجه به روند یکنواخت تعداد دوربین‌های فعال، تخلفات دارای سیر نزولی می‌باشد. حال در این بخش می‌خواهیم سیر تخلفات را به تفکیک هر کدام از بزرگراه‌ها مورد بررسی قرار دهیم. همان‌طور که در جدول ذیل مشاهده می‌شود بزرگراه تهران کرج در بین بزرگراه‌های دیگر بیشترین میزان تخلفات را با میانگین ۱۰ دوربین فعال دارد، و ۴۱٪ از فراوانی تخلفات بازه زمانی انتخابی را به خود اختصاص داده است. بزرگراه حکیم هم با همان تعداد دوربین و اختصاص ۲۹٪ از فراوانی بازه مذکور در جایگاه دوم قرار دارد. بیشترین دوربین‌ها در بزرگراه همت فعال می‌باشند که از لحاظ فراوانی تخلفات در جایگاه سوم قرار دارد. همچنین بزرگراه نیایش با کمترین تعداد دوربین‌های فعال کمترین فراوانی تخلفات را دارد.

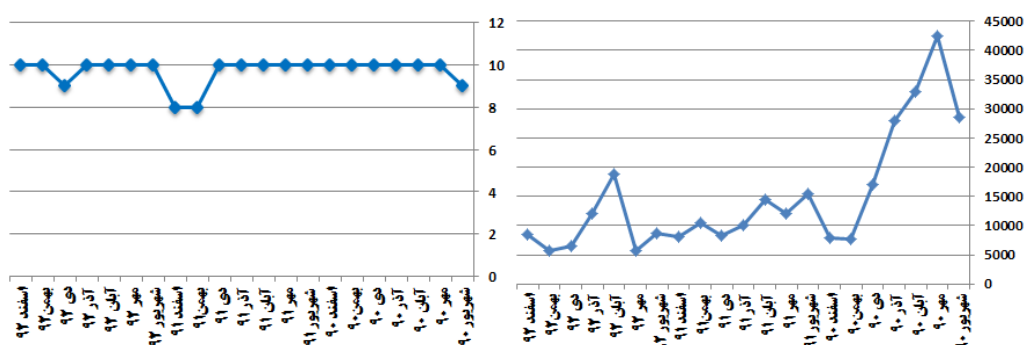
جدول ۴-۴: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک بزرگراه‌ها در بازه زمانی انتخابی

فراوانی/بزرگراه	تهران-کرج	همت	نیایش	حکیم	یادگار
تخلفات	۷۸۰۹۷۳	۲۵۸۵۵۶	۴۶۲۵۵	۵۶۲۲۷۷	۲۷۲۵۷۸
میانگین دوربین‌های فعال	۱۰	۱۸	۵	۱۰	۱۰

با توجه به هدف پژوهش مبنی بر سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف مناسب است سیر فراوانی تخلفات به صورت ماهانه با در نظر داشتن روند افزایش یا کاهش دوربین‌های فعال در هر بزرگراه جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۲-۱-۱- بزرگراه تهران کرج:

بزرگراه تهران کرج در واقع قسمتی از آزادراهی است که از تهران به سوی شمال غرب تا شهر تبریز ادامه دارد و از شهرهای کرج، قزوین و زنجان می‌گذرد. این بزرگراه به طول ۵۱ کیلومتر از پرتددترین مبادی ورودی و خروجی شهر تهران می‌باشد. در نمودارهای ذیل سیر فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال این بزرگراه در بازه انتخابی آورده شده است:



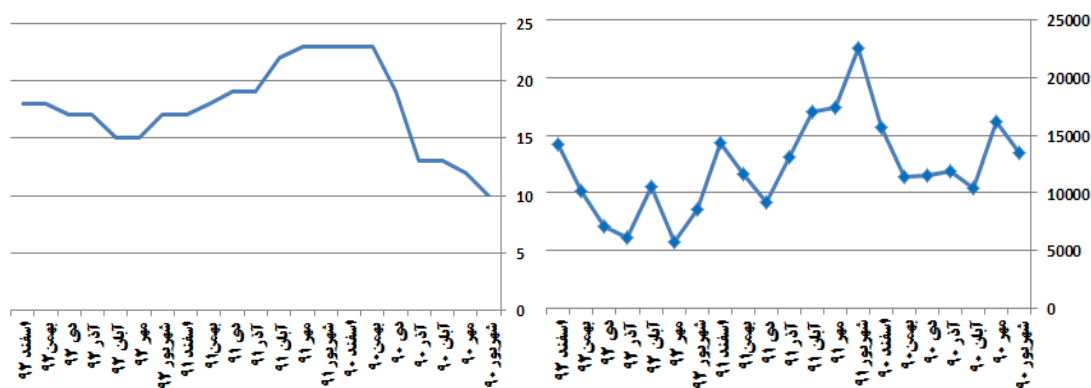
نمودار ۴-۳: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج نمودار ۴-۴: سیر میانگین دوربین‌های فعال در بزرگراه تهران کرج

همان‌طور که در نمودار (۳-۴) نشان داده شده است تخلفات در سال ۹۰ بیشتر از سال‌های ۹۱ و ۹۲ بوده است. در پایان سال ۹۰ در ماه‌های بهمن و اسفند شیب نمودار به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در صورتی که در نمودار (۴-۴) تعداد میانگین دوربین‌ها ثابت می‌باشد. این خود می‌تواند دلیلی مانند افزایش تعرفه جریمه‌ها در دی ماه سال ۹۰ را داشته باشد، که باعث کاهش قابل ملاحظه تخلفات شده است. در بهمن ماه و اسفند ماه سال ۹۱ کاهش دوربین‌ها را داشتیم که در نمودار تخلفات هم کاهش تخلفات ملاحظه می‌شود. در آبان ماه سال ۹۲ افزایش تخلفات را داریم که با ثابت بودن میانگین دوربین‌ها در آن تاریخ همخوانی ندارد و ممکن است از شرایط دیگری مانند حجم تردها ناشی شده باشد. در کل می‌توان گفت اگر خطی را بر روی سیر تخلفات ترسیم کنیم شیب نزولی خواهد داشت. بزرگراه تهران کرج از مبادی ورودی و خروجی شهر تهران محسوب می‌شود

که آمار تردد آن در اختیار این پژوهش قرار گرفته است لذا، در بخش (۴-۳) این فصل به تحلیل استنباطی و مدلسازی آن با سری‌زمانی و رگرسیون به صورت هفتگی می‌پردازیم.

۴-۲-۲-۲- بزرگراه همت

بزرگراه شهید همت یکی از اصلی‌ترین بزرگراه‌های تهران است که راه ارتباطی شرق به غرب و غرب به شرق تهران می‌باشد. طول این بزرگراه در حدود ۳۰ کیلومتر می‌باشد. این بزرگراه یکی از معابر پرتردد تهران است که در برخی از ساعات شبانه روز به ویژه آغاز و پایان ساعات اداری با ترافیک سنگین یا نیمه سنگین روبرو می‌شود. این بزرگراه از شرق و غرب توسعه داده شده که شهرداری تهران ادامه این بزرگراه را شهید زین‌الدین و شهید خرازی نام‌گذاری کرده است. در نمودارهای ذیل سیر فراوانی تخلقات و دوربین‌های فعال این بزرگراه در بازه انتخابی آورده شده است:



نمودار ۴-۶: سیر میانگین دوربین‌های فعال در بزرگراه همت

نمودار ۴-۵: سیر تخلقات سرعت در بزرگراه همت

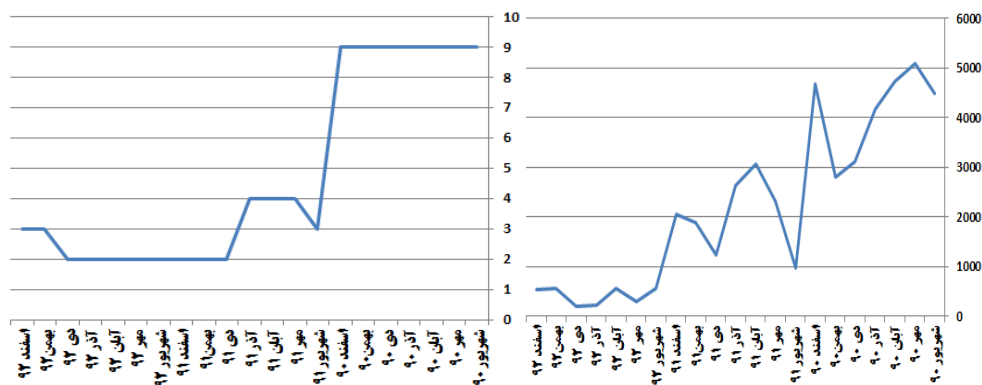
در بررسی نقطه به نقطه نمودار (۴-۵) در سال‌های ۹۰ و ۹۲ متوجه می‌شویم که سیر تخلقات در سال ۹۲ نسبت به سال ۹۰ کاهش داشته است. این درحالی است که متوسط میانگین دوربین‌های فعال در سال ۹۰ دچار نوسان بوده و در سال ۹۲ تقریباً از سیر یکنواختی پیروی می‌کند. برای

تصمیم‌گیری بهتر متوسط تعداد دوربین‌های فعال در بازه انتخابی را محاسبه می‌کنیم. در سال ۹۰ میانگین ۱۶ دوربین، در سال ۹۱ میانگین ۲۰ دوربین و در سال ۹۲ میانگین ۱۷ دوربین می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد متوسط دوربین‌ها در سال ۹۲ یکی بیشتر از سال ۹۰ است در حالی که کاهش سیر تخلفات در بررسی نقطه به نقطه سال‌های مذکور در نمودار (۴-۵) مشهود است. سال ۹۱ نسبت به سال ۹۰ و ۹۲ از تخلفات بیشتری برخوردار است که با بررسی نمودار (۴-۵) و تعداد میانگین ۲۰ دوربین در آن سال مشاهده می‌شود که دوربین‌های فعال افزایش یافته است که می‌تواند خود دلیلی بر افزایش میزان تخلفات در سال ۹۱ باشد.

در مجموع سیر تخلفات در این بزرگراه به صورت نزولی می‌باشد که این خود دلیلی بر سودمندی دوربین‌ها در این بزرگراه است. بزرگراه همت همانند بزرگراه تهران کرج در تحلیل استنباطی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

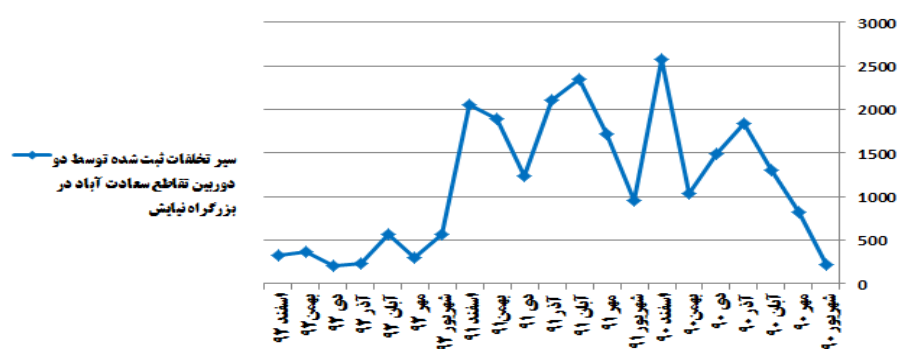
۴-۲-۲-۳--بزرگراه نیایش

بزرگراه نیایش به عنوان اولین بزرگراهی که دوربین‌های ثبت تخلف در سال ۸۷ در آن نصب شدند، شناخته می‌شود. این بزرگراه در حدود ۷ کیلومتر طول دارد که در شمال مرکزی شهر تهران واقع است. در نمودارهای ذیل سیر فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال این بزرگراه در بازه انتخابی آورده شده است:



نمودار ۴-۷: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه نیایش نمودار ۴-۸: سیر میانگین دوربین‌های فعال در بزرگراه نیایش

در نمودار (۷-۴) سیر کاهش تخلفات در سال‌های ۹۰ تا ۹۲ به وضوح مشهود است. اما با توجه به نمودار (۸-۴) مشاهده می‌کنیم میانگین تعداد دوربین‌ها در این بازه کاهش یافته است که می‌توان کاهش تخلفات را اثر کاهش دوربین‌ها دانست. جهت بررسی بیشتر می‌توان تخلفات ثبت شده توسط دو دوربین که در سال ۹۲ فعال بودند را بررسی نمود. این درحالی است که آن دو دوربین در تمام بازه زمانی انتخابی فعال بوده باشند. با بررسی در پایگاه داده دوربین‌های تقاطع سعادت آباد از محور شرق به غرب و غرب به شرق در تمام بازه مشترک بودند. سیر تخلفات این دوربین‌ها در بازه انتخابی مطابق نمودار ذیل می‌باشد:



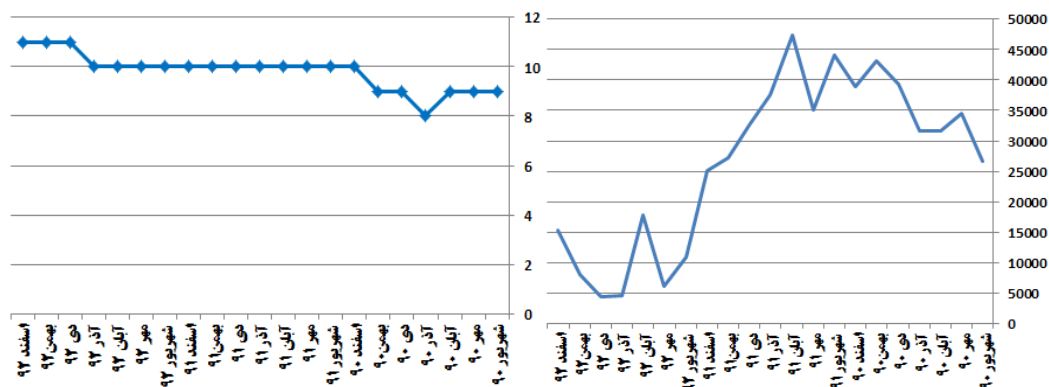
نمودار ۴-۹: سیر تخلفات دوربین‌های تقاطع سعادت آباد در بازه زمانی انتخابی

همان‌طور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود، در هفت ماه انتهایی سال ۹۲ کاهش تخلفات نسبت به سال‌های دیگر وجود دارد. و در سال ۹۰ و ۹۱ تقریباً نوسان یکسانی بین تخلفات مشاهده می‌شود.

در صورت ثابت بودن میزان ترددها می‌توان سودمندی دوربین‌های مستقر در تقاطع سعادت آباد در بزرگراه نیایش را نتیجه گرفت.

۴-۲-۲-۴- بزرگراه حکیم

بزرگراه آیتا... حکیم یکی از بزرگراه‌های اصلی تهران است که به موازات بزرگراه همت از غرب به شرق امتداد دارد. طول این بزرگراه در حدود ۹ کیلومتر می‌باشد. در نمودارهای ذیل سیر فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال این بزرگراه در بازه انتخابی آورده شده است:

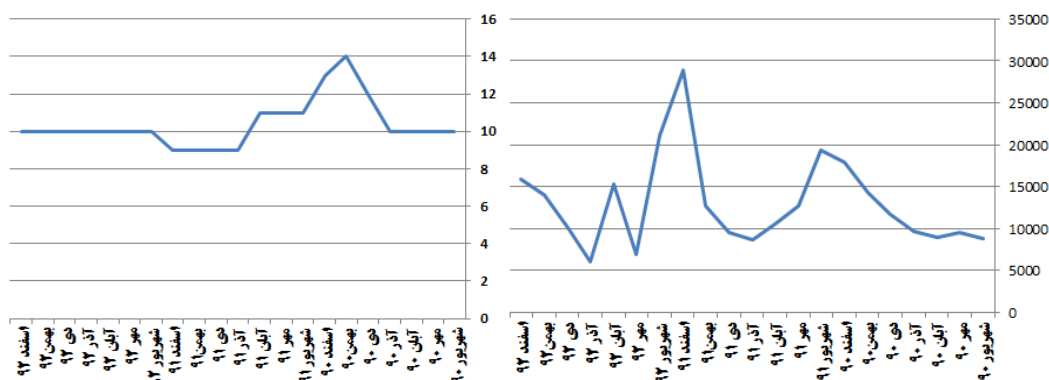


نمودار ۴-۱۰: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه حکیم نمودار ۴-۱۱: سیر میانگین دوربین‌های فعال در بزرگراه حکیم

همان‌طور که در نمودار (۴-۱۰) مشاهده می‌شود در ابتدای نمودار (از شهریور ماه سال ۹۰ تا بهمن ماه همان سال) به نسبت قسمت‌های میانی آن (از اسفند ماه سال ۹۰ تا آذر ماه سال ۹۱) کاهش تخلفات را داریم، که کاهش تعداد دوربین‌ها خود دلیلی موجه بر این امر می‌باشد. از قسمت میانی به انتهای نمودار مذکور (از آذر ماه سال ۹۱ تا پایان اسفند ۹۲) کاهش تخلفات مشاهده می‌شود. با توجه به سیر یکنواخت و افزایش انتهایی در نمودار (۴-۱۱) می‌توان با در نظر داشتن حجم ثابت ترددها سیر تخلفات را در این بزرگراه نزولی دانست و سودمندی دوربین‌ها را نتیجه گرفت.

۴-۲-۵- بزرگراه یادگار

بزرگراه یادگار امام یا بزرگراه یادگار اصلی‌ترین شریان شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در محدوده شمال غرب و غرب تهران است. طول این بزرگراه در حدود ۱۶ کیلومتر می‌باشد. بزرگراه یادگار به همراه بزرگراه نیایش از اولین بزرگراه‌هایی بودند که در سال ۸۷ دوربین‌های کنترل سرعت در آنها نصب شدند. در نمودارهای ذیل سیر فراوانی تخلفات و دوربین‌های فعال این بزرگراه در بازه انتخابی آورده شده است. همان‌طور که در نمودارهای ذیل مشاهده می‌شود با توجه به ثابت بودن میانگین دوربین‌ها در قسمت ابتدایی و انتهایی نمودار (۴-۱۳) و مقایسه آنها با نقاط نظیرشان در نمودار (۴-۱۲) نوسان در تخلفات وجود دارد. با تغییرات نامنظمی که در نمودار سیر تخلفات وجود دارد، بهترین امر برای محاسبه دقیق‌تر استفاده از میزان حجم تردها و بررسی در بازه‌های روزانه و هفتگی می‌باشد. البته با تقسیم میزان تخلفات بر میانگین دوربین‌ها در همین بازه زمانی، می‌توان معادله خط روند بدست آمده را مورد تحلیل قرار داد که در فصل پنجم مورد بررسی قرار گرفته است.



نمودار ۴-۱۲: سیر تخلفات سرعت در بزرگراه یادگار نمودار ۴-۱۳: سیر میانگین دوربین‌های فعال در بزرگراه یادگار

۴-۲-۳- بررسی فراوانی تعداد تخلفات به تفکیک نوع کاربری وسیله نقلیه

ارتکاب تخلف در بین رانندگان وسائل نقلیه سبک و سنگین در بازه زمانی انتخابی مطابق با جدول ذیل دسته‌بندی شده است. همان‌طور که جدول ذیل نشان می‌دهد بیشترین تخلفات در بین رانندگان وسائل نقلیه سبک بوده است. اگر بخواهیم میزان کاهش تخلفات را در بین رانندگان وسائل نقلیه

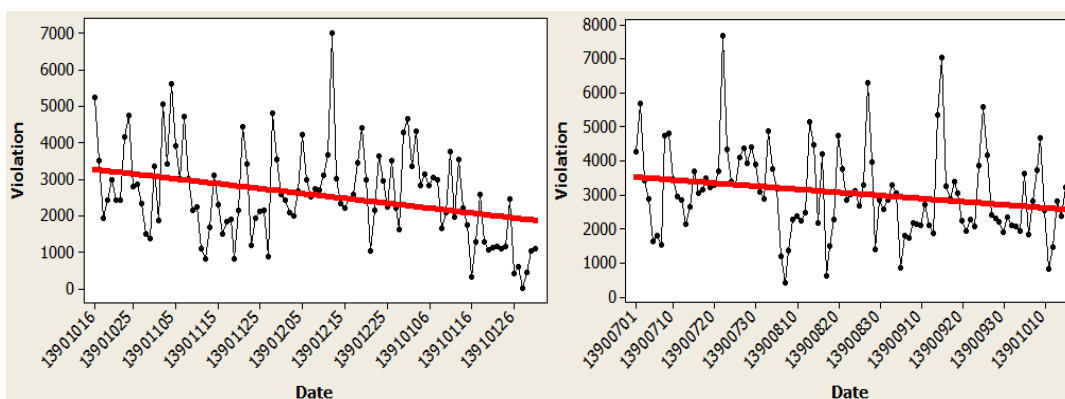
سبک و سنگین بررسی کنیم می‌توانیم با تقسیم اختلاف تخلفات در سال ۹۰ و سال ۹۲ بر میانگین تخلفات در سه سال، نسبت آنها را بدست آورده و با هم مقایسه کنیم. با در نظر گرفتن شرایط یکسان محاسبات فوق نشان می‌دهد که کاهش تخلفات بر رانندگان وسائل نقلیه سبک با نسبت ۱,۲۰۵ تأثیرگذارتر از رانندگان وسائل نقلیه سنگین با نسبت ۰,۲۶ می‌باشد.

جدول ۴-۵: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک نوع وسیله کاربری

سال / وسیله نقلیه	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
سبک	۶۱۰۲۱۲	۵۴۹۰۳۹	۲۸۷۷۸۹
سنگین	۱۰۰۳	۱۱۰۸	۳۶۹

۴-۲-۴- بررسی تأثیرپذیری افزایش جریمه‌ها بر تخلفات سرعت غیرمجاز

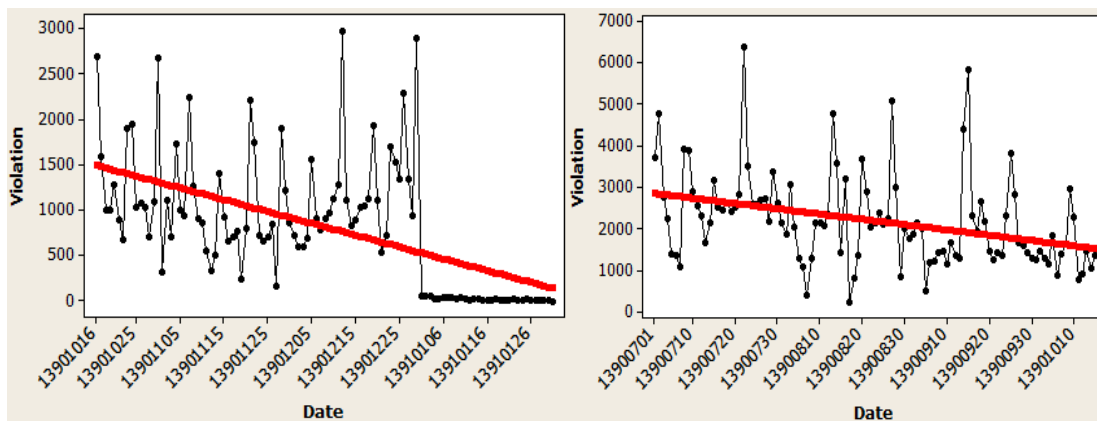
در این قسمت از پژوهش برآن شدیم تا اثر افزایش جریمه‌ها که در دی ماه سال ۱۳۹۰ در کشور اعمال شد، را بر روی تخلفات غیر مجاز بررسی کنیم. تخلفات پنج بزرگراه در سه ماه قبل و بعد از افزایش جریمه‌ها به صورت روزانه بررسی می‌شود.



نمودار ۴-۱۴: سیر تخلفات سرعت قبل از افزایش جریمه‌ها نمودار ۴-۱۵: سیر تخلفات سرعت بعد از افزایش جریمه‌ها

در نمودار (۴-۱۴) سیر تخلفات قبل از افزایش جریمه‌ها از ابتدای مهر ماه سال ۹۰ تا نیمه اول دی ماه همان سال مورد بررسی قرار گرفته است. خط روند تخلفات در این نمودار دارای شیب نزولی به اندازه $۹/۰۶۶۸۳-$ می‌باشد. این درحالی است که در نمودار (۴-۱۵) خط روند تخلفات بعد از افزایش

جریمه‌ها دارای شیب $-۱۳/۳۸۲۷$ می‌باشد که نسبت به قبل از اعمال افزایش جریمه‌ها کاهش بیشتری یافته است. حال این سوال پیش می‌آید، آیا ممکن است کاهش تخلفات از تغییرات در میانگین تعداد دوربین‌ها ناشی شده باشد؟ با بررسی مجدد جدول (۴-۲) مشاهده می‌شود تعداد میانگین دوربین‌ها از ۵۰ تا ۶۵ تا از مهرماه سال ۹۰ تا فروردین ماه سال ۹۱ افزایش یافته است. مسلماً با بررسی تخلفات دوربین‌های مشترک در این بازه به نتایج دقیق‌تری می‌توان دست یافت. لذا داده‌های تخلف ۴۶ دوربین را که در تمامی بازه انتخابی مشترک می‌باشند به صورت روزانه مانند فوق بررسی می‌کنیم.



نمودار ۴-۱۶: سیر تخلفات قبل از افزایش جریمه‌ها برای دوربین‌های مشترک نمودار ۴-۱۷: سیر تخلفات بعد از افزایش جریمه‌ها برای دوربین‌های مشترک

در بررسی نمودار (۴-۱۶) و (۴-۱۷) در می‌یابیم روند تخلفات قبل از اعمال افزایش جریمه نسبت به حالت قبل از $۹/۰۶۶۸۳$ به $۱۲/۷۲۹۷$ کاهش یافته است. این امر می‌تواند مبین سیر نزولی‌تر تخلفات ۴۶ دوربین مشترک نسبت به تخلفات تمامی دوربین‌ها قبل از افزایش جریمه‌ها باشد. در نمودار فوق می‌بینیم که تخلفات بعد از افزایش جریمه‌ها نسبت به قبل از آن دارای شیب منفی بیشتری می‌باشد. لذا در بررسی دوربین‌های مشترک همانند حالت بررسی کلی که در قبل صورت گرفت، کاهش سیر تخلفات بعد از افزایش تعرفه جریمه‌ها محرز گردید. اما در نمودار (۴-۱۵) روند تخلفات دارای شیب $-۱۳/۳۸۲۷$ و در نمودار (۴-۱۷) دارای شیب $-۱۳/۰۴۳۴$ می‌باشد که نسبت به

بررسی کلی سیر تخلفات تمامی دوربین‌ها شیب کمتری دارد. ولی در نهایت در هر دو حالت کاهش بیشتر تخلفات نسبت به قبل از افزایش جریمه‌ها مشاهده گردید و این خود مبین تأثیرگذاری افزایش تعرفه جریمه‌ها بر کاهش تخلفات باشد.

۴-۲-۴-۱- بررسی تأثیرگذاری افزایش تعرفه جریمه‌ها بر رانندگان وسائل نقلیه سبک و سنگین

در این بخش به تفکیک سه ماه قبل و بعد از افزایش جریمه‌ها میزان تأثیرگذاری افزایش جریمه‌ها را بر روی رانندگان وسائل نقلیه سبک و سنگین بررسی می‌کنیم. در ابتدای امر با استفاده از آزمون خی‌دو رابطه معناداری کاهش تخلفات را نسبت به دوره قبل از افزایش جریمه‌ها مورد بررسی قرار می‌دهیم. با بدست آوردن نسبت تخلفات بعد از اعمال افزایش تعرفه جریمه‌ها به قبل از اعمال آن، برای وسائل نقلیه سبک و سنگین میزان تأثیرگذاری جریمه‌ها را بر روی رانندگان وسائل نقلیه سبک و سنگین می‌سنجیم. هرچه میزان این نسبت کوچکتر باشد تخلفات کاهش بیشتری یافته است و افزایش جریمه‌ها تأثیرگذارتر بوده است. با محاسبه ای که صورت پذیرفت رانندگان وسائل نقلیه سبک به نسبت ۰,۸۴ در مقایسه با رانندگان وسائل نقلیه سنگین به نسبت ۱,۲۵، تخلفات خود را کاهش داده اند. که نشان می‌دهد رانندگان وسائل نقلیه سبک با توجه به این که حجم زیادی از تخلفات را به خود اختصاص دادند اما افزایش جریمه‌ها بر آنها تأثیرگذارتر بوده است.

جدول ۴-۶: جدول فراوانی تخلفات سرعت غیرمجاز به تفکیک نوع وسیله کاربری و بررسی رابطه معناداری آن

تخلفات	سه ماه قبل از افزایش تعرفه جریمه‌ها	سه ماه بعد از افزایش تعرفه جریمه‌ها	مجدور خی‌دو	درجه	سطح معناداری
مجموع	۳۲۰۴۱۲	۲۷۰۲۹۶	۳۵۳۴۴۰	۴	۰/۰۱
وسائل نقلیه سبک	۳۲۰۰۰۳	۲۶۹۷۸۳	۳۵۲۸۰۴	۴	۰/۰۱
وسائل نقلیه سنگین	۴۰۹	۵۱۳	۶۱۷	۲	۰/۰۱

آزمون خی دو هم برای بررسی رابطه معناداری تخلفات وسائل نقلیه سبک و سنگین ، قبل و بعد از افزایش تعرفه جریمه بررسی شده است که در هر دو حالت معنادار می باشد.

۴-۳- تحلیل استنباطی تخلفات سرعت غیرمجاز

در این بخش به تجزیه و تحلیل بزرگراه های تهران کرج و همت با استفاده از مدلسازی سری زمانی و رگرسیون می پردازیم. علت انتخاب بزرگراه های تهران کرج و همت همان طور که در بخش (۱-۵-۴) فصل اول بیان شد، وجود داده های تردد برای مبادی ورودی و خروجی شهر تهران می باشد که این دو بزرگراه را شامل می شود. جهت بررسی دقیق تر داده ها به صورت هفتگی مورد تحلیل قرار می گیرند.

۴-۳-۱- همبستگی^۱

آیا متغیرها دارای رابطه معناداری با هم می باشند؟ قبل از شروع به فرآیند مدلسازی می بایست رابطه معنادار بین متغیرهای مستقل و وابسته مورد بررسی قرار گیرد. ضمن یادآوری متغیر وابسته میزان تخلفات سرعت غیرمجاز در هر بزرگراه می باشد و متغیرهای وابسته میانگین تعداد دوربین های فعال در ماه و حجم تردها می باشند. با استفاده از نرم افزار SPSS همبستگی بین متغیرها پژوهش می شود. جدول ذیل نتایج مربوطه را برای بزرگراه تهران کرج و همت نشان می دهد. همان طور که در جدول ذیل مشاهده می شود متغیرهای مستقل رابطه معناداری با متغیر وابسته که همان تخلفات سرعت غیرمجاز است، دارند. هرچه ضریب همبستگی بزرگتر باشد ارتباط بین متغیرها قویتر است. با این احتساب در بزرگراه تهران کرج همبستگی بیشتری بین متغیرهای تخلفات و حجم تردها، و همچنین در بزرگراه همت همبستگی بیشتر بین متغیرهای تخلفات و حجم تردها مشاهده می شود.

¹ Correlation

جدول ۴-۷: جدول بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل با وابسته

مدل مورد استفاده	متغیرهای مستقل		بزرگراه
	ضریب همبستگی	سطح معناداری	
Pearson	۰/۲۹۵	۰/۰۰۸	تهران کرج
	۰/۲۲۵	۰/۰۱۱	
Pearson	۰/۴۲	۰/۰۰۷	همت
	۰/۳۹۵	۰/۰۰۱	

همبستگی بین متغیرهای مستقل هم در این آزمون محاسبه شد که هیچ رابطه معناداری بین متغیر تردها و میانگین دوربین‌های فعال وجود نداشت. قبل از گرفتن همبستگی بین متغیرها با استفاده از نرم افزار SPSS مقادیر پرت شناسایی و با میانگین داده‌های قبل و بعد خود جایگزین شدند. داده‌های پرت مذکور در در سه ناحیه از متغیر تردد در بزرگراه تهران کرج مشاهده شدند، که جایگزینی مناسب صورت پذیرفت. حال با توجه به وجود همبستگی معنادار بین متغیرها که در این بخش بررسی گردید، می‌توان مدل‌سازی سری‌زمانی و رگرسیون را انجام داد.

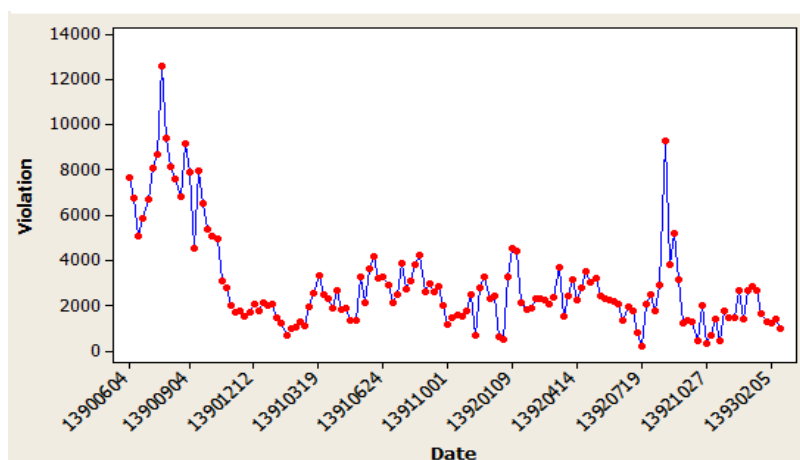
۴-۳-۲- مدل‌سازی متغیر تخلفات و تردها با سری‌زمانی به تفکیک هر بزرگراه

در بخش (۳-۴-۱-۱) فصل سوم خلاصه‌ای از مراحل مدل‌سازی سری‌زمانی بیان شد. که به ترتیب شامل حذف مولفه‌های مانا، شناسایی مدل آریمای مناسب، برآورد کردن پارامترها، تحلیل باقیمانده‌ها و ارزیابی مدل پیش‌بینی با داده‌های تست بودند. جهت نشان دادن مراحل مدل‌سازی با سری‌زمانی که برای هر کدام از متغیرها در بزرگراه‌های تهران کرج و همت صورت گرفته، فقط به ذکر مراحل کامل مدل‌سازی متغیر تخلفات در بزرگراه تهران کرج بسنده می‌کنیم.

۴-۳-۱- بزرگراه تهران کرج

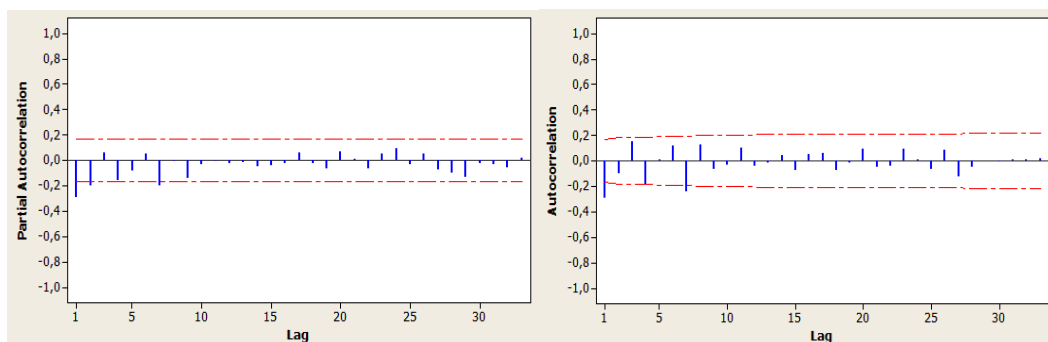
• مدل‌سازی متغیر تخلفات

همان‌طور که در فصل سوم در مدل‌سازی به روش باکس جنکینز بیان شد، مرحله اول در مدل‌سازی سری‌های زمانی رسم نمودار می‌باشد. از روی نمودار می‌توان تا حدودی وجود الگوهای فصلی، روند آن و همچنین نیاز به ایستاسازی در واریانس یا میانگین آن پی برد.



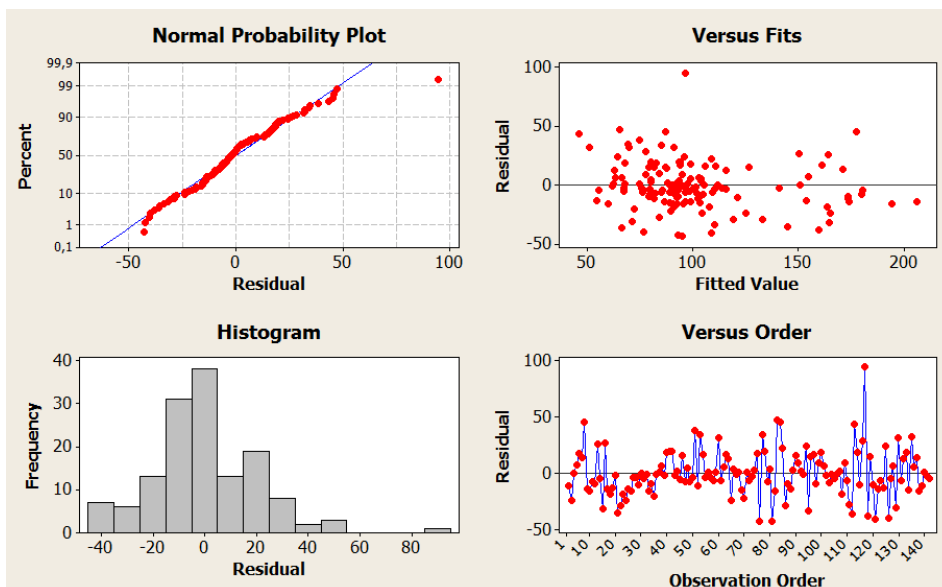
نمودار ۴-۱۸: نمودار سیر تخلفات سرعت غیرمجاز در بزرگراه تهران کرج

همان‌طور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود، نمودار دارای نایستایی در میانگین و واریانس می‌باشد. بدین‌منظور با استفاده از آزمون باکس کاکس نایستایی آن در واریانس و با استفاده از ترسیم نمودار acf و pacf و تنزل کند نمودار acf نسبت به pacf نایستایی آن در میانگین تأیید می‌شود. در مرحله بعد به ترسیم نمودار acf و pacf از تخلفات که نسبت به واریانس و میانگین ایستا شده است، می‌پردازیم. همان‌طور که در نمودارهای مربوطه در ذیل نشان داده شده است، در Lag 7 وقفه معنی‌دار وجود دارد. با توجه به این امر امکان الگوی فصلی در بازه ۷ هفته وجود دارد.



نمودار ۴-۱۹: acf متغیر تخلفات در بزرگراه تهران کرج نمودار ۴-۲۰: pacf متغیر تخلفات در بزرگراه تهران کرج

بعد از تخمین مدل، پارامترهای آن را از لحاظ معناداری بررسی می‌کنیم. مدل آزمایشی $ARIMA(1,1,1)(1,0,0)$ 7 برآورد شده است که پارامترهای آن بررسی شده و معنادار می‌باشند. در مرحله بعد به تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های آن می‌پردازیم. در نمودار ذیل نرمال بودن باقیمانده‌ها، از دو نمودار ستون چپ تصویر ذیل قابل مشاهده می‌باشد. در نمودار احتمال نرمال نقاط در امتداد یک خط مستقیم قرار گرفتند و هیستوگرام باقیمانده‌ها قیفی شکل می‌باشد که نرمال بودن باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد. برای بررسی فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها می‌بایست نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده بررسی شود، اگر ساختار خاصی را نشان ندهد و شکل قیفی مانند نداشته باشد، نشان دهنده ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها می‌باشد. در شکل سمت راست بالایی نمودار این امر نشان داده می‌شود. شکل سمت راست پایینی هم، نمودار باقیمانده‌ها را در طول زمان نشان می‌دهد که دارای ساختار خاصی نمی‌باشد و در اطراف سطح افقی صفر پراکنندگی مستطیلی بدون روندی را دارد.



نمودارهای تجزیه و تحلیل باقیمانده ها در مدل تخلفات بزرگراه تهران کرج نمودار ۴-۲۱:

با استفاده از آزمون پرت مانو می توان خودهمبستگی باقیمانده ها را کنترل نمود. در تصویر ذیل با بررسی همبستگی بین باقیمانده ها سطح معناداری آن نشان داده شده است. در صورتی که سطح معناداری بیشتر از 0.05 باشد فرضیه همبستگی بین باقیمانده ها رد می شود.

جدول ۴-۸: نتایج آزمون همبستگی بین باقیمانده ها در مدل تخلفات بزرگراه تهران کرج

IAG	۱۲	۲۴	۳۶	۴۸
Chi-Square	۵,۵	۱۰,۴	۲۳,۴	۲۹,۰
DF	۸	۲۰	۳۲	۴۴
p-value	۰,۷۰۴	۰,۹۰۶	۰,۸۶۴	۰,۹۶

در نهایت با برازش جامع تر مدل ها، می توان مدل های بیشتری را مورد بررسی قرار داده و مراحل فوق را بر روی آنها انجام داد. در صورتی که چندین مدل مناسب شناخته شدند با استفاده از معیار آکائیک و شوارتز بیزین بهترین مدل از بین آنها مشخص می شود. جدول ذیل لیست مدل هایی که برای مدل

تخلفات بزرگراه تهران کرج مناسب شناخته شده‌اند را به همراه معیارهای آن نشان می‌دهد. در نهایت مشاهده می‌شود که مدل آزمایشی دارای مقدار کمتری در معیار آکائیک و شوارتز بیزین است لذا مناسب‌تر شناخته شده است.

جدول ۴-۹: جدول بررسی مناسبت مدل متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج

ردیف	مدل	AIC	SBC
۱	ARIMA(0,1,1)	۸۷۰,۸۶	۸۷۷,۹۲۱
۲	ARIMA(1,1,1)	۸۷۲,۰۱	۸۷۳,۸۱۵
۳	ARIMA(1,1,0)(0,0,1) 7	۸۷۱,۱۹	۸۷۷,۱۰۱
۴	ARIMA(0,1,1)(1,0,0) 7	۸۶۶,۶۶۶	۸۷۲,۵۷۶
۵	ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 7	۸۶۷,۰۲۴	۸۷۵,۸۸۹
۶	ARIMA(1,1,1)(1,1,1) 7	۸۷۸,۵۱۰	۸۹۰,۳۳
۷	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) 7	۸۶۵,۱۵	۸۷۱,۰۶۱
۸	ARIMA(2,1,0)(0,0,1) 7	۸۶۵,۶۸	۸۷۴,۵۴۵

فرمول کامل مدل انتخاب شده به صورت فصلی ضربی به شرح ذیل می‌باشد:

$$(1 - 0.3485B)(1 + 0.2395B^7)w_t = a_t + 0.6923Ba_t \quad (1 - 4)$$

• مدل‌سازی متغیر تردها:

بعد از انجام مراحل مدل‌سازی سری‌زمانی متغیر فوق، مدل آزمایشی 53 ARIMA(0,1,0)(0,0,1) پیشنهاد می‌گردد. و با بررسی مناسبت مدل‌های دیگر، انتخاب مدل فوق به عنوان مدل نهایی قطعی می‌گردد. قابل ذکر است در برازش جامع‌تر بسیاری از مدل‌ها با دوره‌های فصلی احتمالی تست می‌شوند، اما در جدول ذیل فقط مدل‌هایی که پارامترهای معنادار و شروط لازم در تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل را دارند، ذکر گردیدند.

جدول ۴-۱۰: بررسی مناسبت مدل متغیر ترددها در بزرگراه تهران کرج

ردیف	مدل	AIC	SBC
۱	ARIMA(0,1,0)(0,0,1) 48	۲۸۵۱/۶۳۷	۲۸۵۴/۴۲۴
۲	ARIMA(0,1,0)(1,0,1) 48	۲۸۳۵/۵۲۷	۲۸۴۱/۱۰۱۱
۳	ARIMA(0,1,0)(0,0,1) 53	۲۷۸۴/۱۶۷	۲۷۸۶/۹۵۴
۴	ARIMA(0,1,0)(1,0,1) 53	۲۸۰۹/۰۶۱	۲۸۱۴/۶۳۴
۵	ARIMA(0,1,0)(0,0,1) 54	۲۷۹۹/۴۲۲	۲۸۰۲/۲۰۹
۶	ARIMA(0,1,0)(1,0,1) 54	۲۸۰۶/۲۸۶	۲۸۱۱/۸۶۰

فرمول کامل مدل انتخاب شده به شرح ذیل می باشد:

$$y = a_t + 0.7686B^{53}a_t \quad (2 - 4)$$

۴-۳-۲-۲- بزرگراه همت

• مدلسازی متغیر تخلفات

بعد از انجام مراحل مدلسازی سری زمانی متغیر فوق، مدل آزمایشی ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 53 پیشنهاد می گردد، که با بررسی مدل های دیگر، مدل ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 52 مناسب تر شناخته می شود.

فرمول کامل مدل انتخاب شده به شرح ذیل می باشد:

$$w_t - 0.3778Bw_t = (1 - 0.8824B)(1 - 0.7237B^{52})a_t \quad (3 - 4)$$

جدول ۴-۱۱: بررسی مناسبت مدل متغیر تخلقات سرعت در بزرگراه همت

ردیف	مدل	AIC	SBC
۱	ARIMA(1,1,1)	۸۶۵/۱۷۹	۸۷۱/۱۰۳
۲	ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 52	۸۲۲/۵۴۳	۸۳۱/۴۲۹
۳	ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 53	۸۲۷/۱۱۱	۸۳۵/۹۹۷
۴	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) 31	۸۶۰/۹۹۳	۸۶۶/۹۲۳
۵	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) 52	۸۳۱/۹۶۴	۸۳۷/۸۸۸
۶	ARIMA(0,1,0)(1,0,0) 53	۸۴۷/۴۱۰	۸۵۳/۳۳۴

• **مدلسازی متغیر ترددها:**

در بررسی‌های اولیه مدل 21 ARIMA(0,1,1)(1,0,0) پیشنهاد می‌گردد، که با بررسی مدل‌های دیگر، مدل 21 ARIMA(1,1,0)(0,0,1) مناسب‌تر شناخته شد.

جدول ۴-۱۲: بررسی مناسبت مدل متغیر ترددها در بزرگراه همت

ردیف	مدل	AIC	SBC
۱	ARIMA(0,1,2)	۹۱۲,۸۵۵	۹۱۷,۷۳۹
۲	ARIMA(1,1,1)	۹۰۷,۵۸۵	۹۱۲,۴۶۲
۳	ARIMA(0,1,1)(1,0,0) 17	۹۰۷,۱۰۹	۹۰۹,۵۵۱
۴	ARIMA(0,1,1)(1,0,0) 21	۸۹۵,۹۸۴	۹۰۰,۸۶۷
۵	ARIMA(1,1,0)(0,0,1) 17	۹۰۰,۲۱۵	۹۰۵,۰۹۹
۶	ARIMA(1,1,0)(0,0,1) 21	۸۳۳,۰۴۸	۸۸۷,۹۳۲

فرمول کامل مدل انتخاب شده به شرح ذیل می‌باشد:

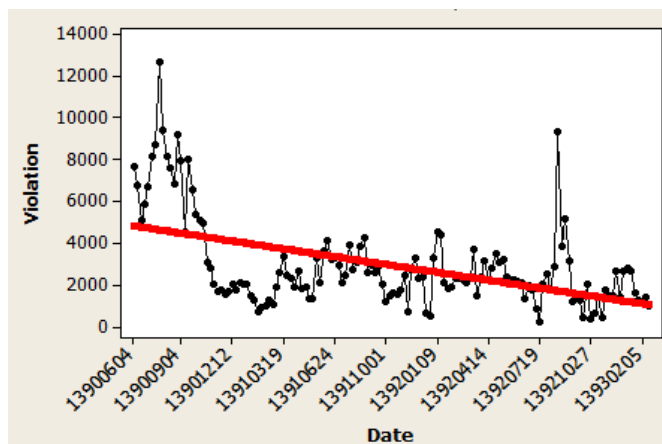
$$w_t + 0.2234Bw_t = a_t - 0.7358B^{21}a_t \quad (4 - 4)$$

۴-۳-۳- تحلیل اجزاء سری زمانی مدل تخلفات و تردها به تفکیک هر بزرگراه

در بخش قبل به مدلسازی تخلفات و تردهای بزرگراه‌های تهران کرج و همت جهت تحلیل اجزاء سری زمانی پرداختیم. همان‌طور که در فصل دوم در خصوص اجزاء سری زمانی توضیح دادیم، هر سری زمانی می‌تواند دارای ۴ جزء روند، تغییرات فصلی، دوره‌ای و نامنظم باشد. بنابراین در ادامه با ترسیم نمودار سری زمانی به همراه خط روند هر یک از متغیرها و مدلی که در بخش قبل بدست آوردیم تحلیل را انجام می‌دهیم.

۴-۳-۳-۱- بزرگراه تهران کرج

• تحلیل اجزاء مدل سری زمانی متغیر تخلفات



نمودار ۴-۲۲: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه تهران کرج

معادله خط روند نمودار سری زمانی فوق به صورت روبرو می‌باشد:

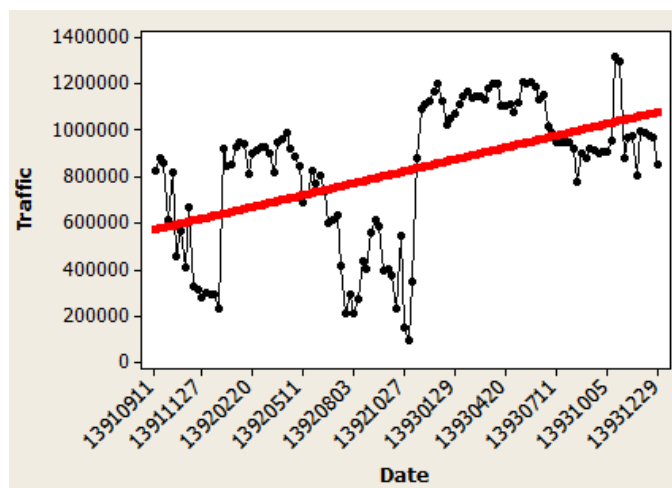
$$y_t = 4878 - 26.6537 * t \quad (5 - 4)$$

فرمول فوق نشان دهنده کاهش تخلفات در زمان به اندازه ۲۶,۶۵۳۷ واحد زمانی است. با توجه به

مدل 7 ARIMA(1,1,1)(1,0,0) که در بخش قبل بدست آوردیم، مدل مربوطه دارای تغییرات فصلی

در بازه ۴۹ روز می‌باشد. یادآوری می‌گردد بازه زمانی تمامی مدل‌ها هفتگی می‌باشد. بنابراین در کمتر از شش ماه الگوی تخلفات با خودرگرسیو فصلی در هر سال تکرار می‌شود. تغییرات نامنظم بعد از حذف روند و الگوهای فصلی برجای می‌ماند که نشان دهنده عدم وابستگی بین باقیمانده‌های مدل است. در نمودار (۴-۲۱) در تصویر چهارم تغییرات نامنظم باقیمانده‌ها نشان داده شده است که تصادفی بودن آنها مشاهده می‌شود.

• تحلیل اجزاء مدل سری زمانی متغیر ترددها



نمودار ۴-۲۳: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تردد در بزرگراه تهران کرج

معادله خط روند نمودار سری زمانی فوق به صورت ذیل می‌باشد:

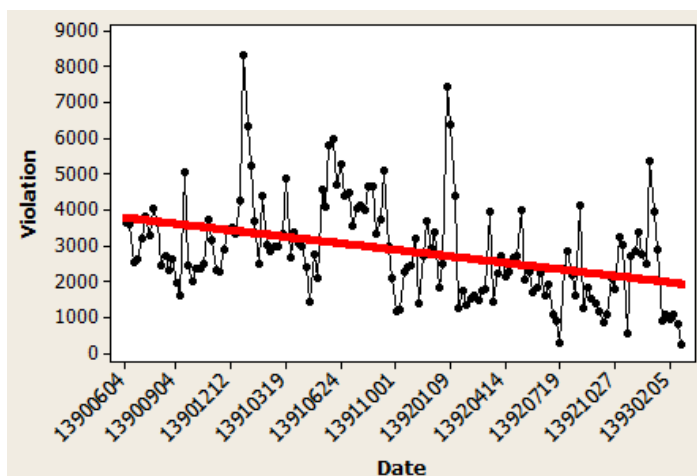
$$y_t = 569169 + 4243 * t \quad (6 - 4)$$

با توجه به مدل $ARIMA(0,1,0)(0,0,1)$ 53 که در بخش قبل بدست آوردیم، مدل مربوطه دارای تغییرات دوره ای ۳۷۱ روزه می‌باشد. که در مدت زمان تقریباً یک سال الگوی ترددها با مدل میانگین متحرک فصلی تکرار می‌شود. در نمودار فوق مشهود است که حجم ترددها در فروردین ماه هر سال به طور چشمگیری در این بزرگراه افزایش می‌یابد. از معادلات خط (۴-۵) و (۴-۶) در می‌یابیم، با افزایش

روند تردها همچنان روند تخلفات در این بزرگراه رو به کاهش می‌باشد. با توجه به این امر و بررسی که در بخش (۱-۲-۲-۴) بر روی متغیر میانگین دوربین‌های فعال در این بزرگراه انجام دادیم، سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف در کاهش تخلفات در این بزرگراه تضمین می‌شود. تغییرات نامنظم این سری هم مانند تخلفات از نمودار باقیمانده‌ها نسبت به زمان بدست می‌آید.

۴-۳-۲- بزرگراه همت

• تحلیل اجزاء مدل سری زمانی متغیر تخلفات



نمودار ۴-۲۴: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تخلفات در بزرگراه همت

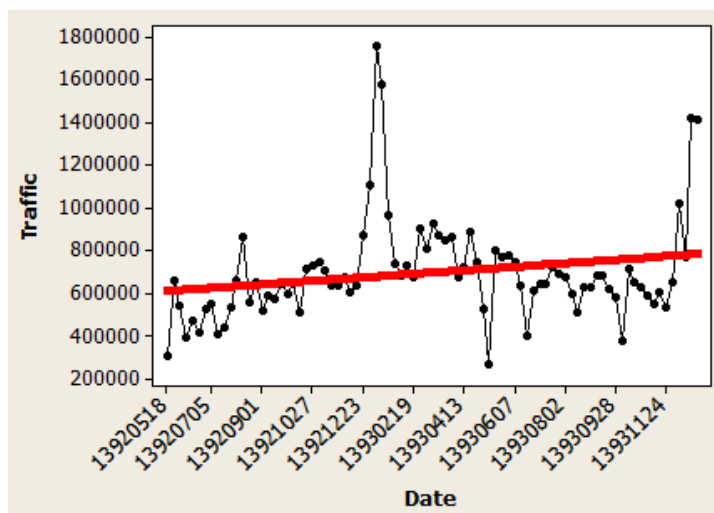
معادله خط روند نمودار سری زمانی فوق به صورت ذیل می‌باشد:

$$y_t = 3805 - 12.9216 * t \quad (7 - 4)$$

با توجه به مدل $ARIMA(1,1,1)(0,0,1)$ 52 که در بخش قبل برای تخلفات بزرگراه همت بدست آوردیم، مدل مربوطه دارای تغییرات فصلی ۳۶۴ روزه می‌باشد. براساس این مدل در مدت زمان تقریباً یک سال الگوی تخلفات در این بزرگراه با مدل میانگین متحرک فصلی تکرار می‌شود. شیب تخلفات هم در این بزرگراه همانند بزرگراه تهران-کرج منفی می‌باشد، با توجه به شیب منفی ۲۶,۶۵۳۷

تخلفات در بزرگراه تهران کرج نسبت به بزرگراه همت با شیب منفی ۱۲,۹۲۱۶، تخلفات در بزرگراه تهران کرج بیشتر کاهش یافته است.

• تحلیل اجزاء مدل سری زمانی متغیر تردد



نمودار ۴-۲۵: سری زمانی به همراه خط روند متغیر تردد در بزرگراه همت

معادله خط روند نمودار سری زمانی فوق به صورت ذیل می باشد:

$$y_t = 613523 + 2060 * t \quad (8 - 4)$$

با توجه به مدل $ARIMA(1,1,0)(0,0,1)$ 21 که برای متغیر تردد بزرگراه همت، مدل مربوطه دارای تغییرات فصلی ۱۴۷ روزه می باشد. براساس این مدل در مدت زمان تقریباً هر پنج ماه الگوی تردها در این بزرگراه با مدل میانگین متحرک فصلی تکرار می شود. با بررسی در فرمول های تردد هر دو بزرگراه شیب تردهای بزرگراه همت به نسبت بزرگراه تهران کرج کمتر می باشد. در بزرگراه تهران کرج شیب تردد مثبت ۴۲۴۳ و در بزرگراه همت مثبت ۲۰۶۰ می باشد. تغییرات نامنظم این سری هم مانند سری های پیش از نمودار باقیمانده ها نسبت به زمان بدست می آید.

۴-۳-۴- بدست آوردن نسبت تخلفات بر تردها و میانگین تعداد دوربین ها به تفکیک هر بزرگراه

در این بخش می‌خواهیم با بررسی نمودار سری‌های زمانی که از نسبت تخلفات بر تردها و همچنین نسبت تخلفات بر میانگین دوربین‌ها فعال در هر بزرگراه بدست می‌آوریم، سودمندی دوربین‌ها را در کاهش تخلفات هر بزرگراه بررسی نماییم. علت بررسی نسبت‌های جداگانه متغیر وابسته (تخلفات) بر متغیرهای مستقل (تردها و میانگین دوربین‌های فعال) عدم وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل می‌باشد که در بخش (۴-۳-۱) بررسی شد.

۴-۳-۴-۱- بزرگراه تهران کرج

در ابتدا بازه‌ای که تردها و تخلفات در آن مشترک هستند پیدا نموده و بعد با تقسیم فراوانی تخلفات هر هفته بر فراوانی تردهای همان هفته و میانگین تعداد دوربین‌های آن، نسبت‌های آن‌ها را جداگانه محاسبه می‌کنیم. جهت بررسی میزان تأثیرپذیری متغیرها در نسبت بدست آمده، شیب معادله خط روند هر کدام از متغیرها را جداگانه بدست آورده و با شیب معادله خط روند نسبت متغیرها مقایسه می‌نماییم. در بزرگراه تهران کرج بازه زمانی مذکور از آذرماه سال ۹۱ تا اردیبهشت ماه ۹۳ سال می‌باشد. معادله خط روند نمودار تخلفات، تردها و نسبت فراوانی تخلفات بر فراوانی تردها به ترتیب به شرح ذیل می‌باشد:

$$y_t = 2482 - 6.90704 * t \quad (9 - 4)$$

$$y_t = 589821 + 3040 * t \quad (10 - 4)$$

$$y_t = 0.004345 - 0.000014 * t \quad (11 - 4)$$

همان‌طور که از معادلات فوق مشخص می‌باشد، افزایش تردها در طول زمان به نسبت کاهش تخلفات در همان بازه بیشتر می‌باشد. این امر باعث می‌شود در طول زمان نسبت تخلفات بر تردها کاهش داشته باشد. همان‌طور که در معادله (۴-۱۱) شیب منفی نمودار حاکی از این مطلب است. لذا

نمی‌توان کاهش شیب تخلفات را در معادله نسبت دو متغیر، صرفاً از کاهش متغیر تخلفات دانست. جهت بررسی بیشتر تأثیرگذاری روند میانگین تعداد دوربین‌ها را بر روی روند تخلفات بررسی می‌کنیم. در بررسی معادله روند میانگین دوربین‌ها و نسبت فراوانی تخلفات بر میانگین دوربین‌ها داریم:

$$y_t = 9.305 - 0.009979 * t \quad (12 - 4)$$

$$y_t = 272.2 - 0.626845 * t \quad (13 - 4)$$

در معادله (۱۲-۴) روند میانگین دوربین‌ها نسبت به زمان کاهش اندکی داشته است که می‌توان از مقدار اندک آن چشم‌پوشی کرد و میانگین دوربین‌ها را در این بازه ثابت در نظر گرفت. اما در نمودار (۱۳-۴) نسبت فراوانی تخلفات بر میانگین دوربین‌ها شیب منفی ۰,۶۲۶ را دارد که با ثابت در نظر گرفتن میانگین دوربین‌ها از کاهش تخلفات نشأت می‌گیرد. این خود می‌تواند دلیلی واضح بر سودمندی دوربین‌های این بزرگراه در کاهش تخلفات در بازه زمانی مشترک مورد بررسی باشد.

۴-۳-۲- بزرگراه همت

مشابه بزرگراه تهران کرج فرآیند را تکرار می‌نماییم. معادله خط روند نمودار تخلفات، تردها، نسبت فراوانی تخلفات بر فراوانی تردها و میانگین دوربین‌های فعال به ترتیب به شرح ذیل می‌باشد:

$$y_t = 1876 + 4.65 * t \quad (14 - 4)$$

$$y_t = 405747 + 13619 * t \quad (15 - 4)$$

$$y_t = 0.004092 - 0.000052 * t \quad (16 - 4)$$

$$y_t = 4878 - 26.6537 * t \quad (17 - 4)$$

همان‌طور که در معادله (۱۴-۴) مشخص است، تخلفات دارای شیب مثبت بوده و در طول زمان رشد مثبت داشته است. که خود می‌تواند به دلیل شیب مثبت روند نمودار تردها در معادله (۱۵-۴)

باشد. با توجه به شیب بیشتر افزایش تردها نسبت به تخلفات، شیب معادله (۴-۱۶) منفی شده است. در مقابل افزایش بیشتر شیب تردها در معادله (۴-۱۵)، کاهش شیب تعداد دوربینها در معادله (۴-۱۷) تأثیر چندانی بر روند تخلفات ندارد. با تمام این توصیفات، رشد مثبت تخلفات در معادله (۴-۱۴) مبنی بر عدم سودمندی دوربینها در بازه زمانی مشترک است. بازه زمانی مشترک بین متغیر تخلفات و تردها در بزرگراه همت از مردادماه ۹۲ تا اردیبهشت ماه سال ۹۳ می باشد.

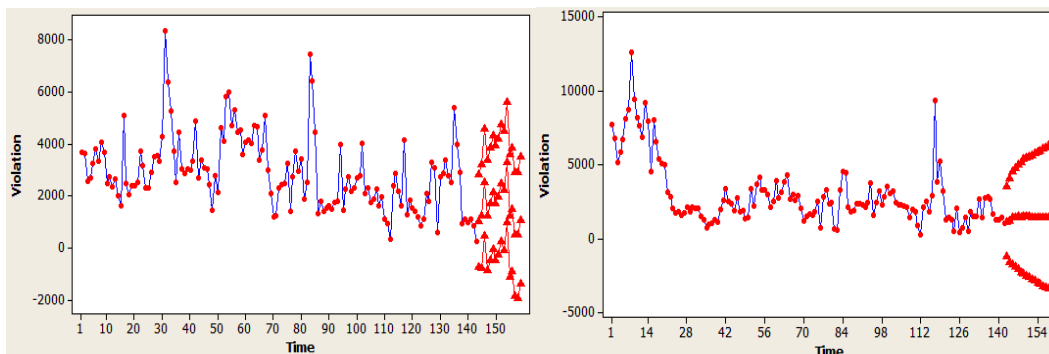
۴-۳-۵- ارزیابی و پیش بینی مدل سری زمانی تخلفات در بزرگراه های تهران کرج و همت

در این بخش مدل تخلفات بزرگراه های تهران کرج و همت، که با روش مدلسازی سری زمانی باکس جنکینز ایجاد گردیدند را مورد ارزیابی قرار می دهیم. ارزیابی از بهمن ماه سال ۹۲ تا اردیبهشت ماه سال ۹۳ صورت گرفته است. جدول ذیل میزان خطای پیش بینی را در هر بزرگراه گزارش می کند.

جدول ۴-۱۳: ارزیابی مدل های بدست آمده برای متغیر تخلفات بزرگراه

MAPE	MAD	مدل	بزرگراه
۰,۳۴٪	۵,۳۳٪	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) 7	تهران کرج
۰,۶۰٪	۷,۸۳٪	ARIMA(1,1,1)(0,0,1) 52	همت

همان طور که در نتایج جدول فوق مشاهده می شود مدل برآورد شده برای تهران کرج از دقت بهتری نسبت به بزرگراه همت برخوردار است. با توجه به پیش بینی که بر روی تخلفات هر دو بزرگراه از خردادماه سال ۹۳ تا پایان شهریور ماه همان سال صورت پذیرفت. میزان تخلفات بزرگراه تهران کرج در بازه تعیین شده نسبت به ماه های نظیرش در سال ۹۲، ۳۲ درصد کاهش و همچنین در بزرگراه همت ۲۸ درصد کاهش تخلفات را مشاهده می کنیم. در ذیل نمودارهای پیش بینی تخلفات در هر بزرگراه به همراه حدبالا و پایین پیش بینی نشان داده شده است.



نمودار ۴-۲۷: پیش بینی در بزرگراه همت

نمودار ۴-۲۶: پیش بینی در بزرگراه تهران کرج

۴-۳-۶- مدل سازی رابطه تخلفات با میزان تردد ها و میانگین دوربین ها با روش

رگرسیون به تفکیک بزرگراه ها

در این بخش می خواهیم با استفاده از رگرسیون رابطه معنادار بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل در این پژوهش را پیدا کنیم. یادآوری می گردد، میزان تخلفات سرعت غیرمجاز به عنوان متغیر وابسته و حجم تردد ها و میانگین تعداد دوربین های فعال در ماه به عنوان متغیرهای مستقل در این پژوهش استفاده می شوند. در ابتدا قبل از مدلسازی می بایست پیش فرض های رگرسیون کنترل شود تا در صورت داشتن شرایط لازم جهت انتخاب مدل مناسب خطی یا غیرخطی اقدام گردد.

۴-۳-۶-۱- کنترل پیش فرض های رگرسیون

یادآوری می گردد در فصل سوم پیش فرض های رگرسیون شامل (معنی دار بودن متغیرها، توزیع نرمال خطاها با میانگین صفر، مستقل بودن خطاها از یکدیگر، عدم وجود رابطه همخطی بین متغیرهای مستقل) معرفی گردید. در این بخش به صورت تفصیلی تر به بررسی موارد فوق می پردازیم.

۱- معنی دار بودن متغیرها: که با بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته تحقیق می شود.

با توجه به اهمیت این پیش فرض در تحلیل های آماری در بخش (۴-۳-۱) تحت عنوان همبستگی

ارتباط معنادار بین متغیرهای مستقل و وابسته کنترل گردید.

۲- توزیع نرمال خطاها با میانگین صفر: نمودار توزیع نرمال خطاها در بزرگراه‌های تهران کرج و همت به تفکیک در نمودارهای ۴-۲۸ و ۴-۲۹ آمده است.

* **بزرگراه تهران کرج**: دارای میانگین $3,71E-16$ می‌باشد که تقریباً برابر با صفر است. انحراف معیار آن هم برابر با $0,986$ که نزدیک به یک می‌باشد.

* **بزرگراه همت**: دارای میانگین $6,94E-18$ که معادل با صفر و انحراف معیار $0,975$ نزدیک به یک را دارد.

۳- **استقلال خطاها**: عدم همبستگی بین خطاها با آزمون دوربین واتسون کنترل می‌شود. در بزرگراه تهران کرج این آماره برابر با $1,524$ و در بزرگراه همت برابر با $1,809$ می‌باشد. هر دو آماره مقادیری بین $1,5$ تا $2,5$ را دارند. بنابراین بین خطاها وابستگی وجود ندارد.

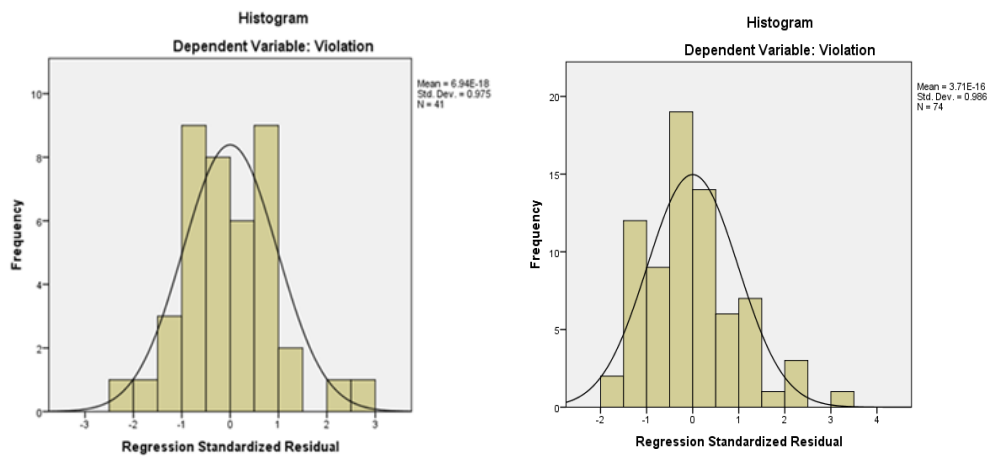
۴- **عدم همخطی بین متغیرهای مستقل**: با بررسی آماره‌های **Tolerance** و **VIF** عدم همخطی را بین متغیرهای مستقل به تفکیک بزرگراه‌ها کنترل می‌کنیم.

* **بزرگراه تهران کرج**: آماره **Tolerance** هر دو متغیر مستقل برابر $0,995$ و **VIF** برابر با $1,005$ می‌باشد.

* **بزرگراه همت**: آماره **Tolerance** هر دو متغیر مستقل برابر $0,988$ و **VIF** برابر با $1,012$ می‌باشد. در هر دو بزرگراه مقادیر **Tolerance** بین 0 تا 1 و مقادیر **VIF** هم بین 1 تا 10 می‌باشد. بنابراین همخطی بین متغیرهای مستقل هر دو بزرگراه مشاهده نشد.

حال بعد از کنترل پیش‌فرض‌های لازم متغیرهای مستقل و وابسته برای مدلسازی رگرسیون در بخش بعد به برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون به تفکیک هر بزرگراه می‌پردازیم و در نهایت بهترین مدل از بین مدل‌ها برآساس آماره ضریب تعیین تعدیل شده انتخاب شده و مدلسازی برآساس

آن انجام می‌شود. هر کدام از مدل‌های رگرسیونی در دو حالت، بدون در نظر گرفتن عرض از مبدأ A و با عرض از مبدأ B که همان ثابت مدل می‌باشد، مشخص شده‌اند.



نمودار ۴-۲۸: هیستوگرام نرمال باقیمانده‌های (بزرگراه تهران کرج) نمودار ۴-۲۹: هیستوگرام نرمال باقیمانده‌های

(بزرگراه همت)

۴-۳-۶-۲- برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون برای بزرگراه تهران کرج

جدول ۴-۱۴: نتایج برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی در رگرسیون بزرگراه تهران کرج

مدل‌های رگرسیونی										عنوان متغیرها
Power		Cubic		Quadratic		Logarithm		Linear		
B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	
۰,۲۳۹	۰,۹۹۵	۰,۰۹۶	۰,۷۷۵	۰,۱۰۷	۰,۷۷	۰,۰۳	۰,۷۵۵	۰,۰۰۹	۰,۶۷۷	ضریب تعیین شده
۲۴,۵۲	۱۴۵۳۴,۸۲	۳,۶۳۳	۸۶,۹۹	۳,۶۳۳	۱۳۲,۲	۳,۹۵	۲۳۱,۷۵	۱,۶۷	۱۵۸,۳۰	آماره F
۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۱۷	۰,۰۰۱	۰,۰۱۷	۰,۰۰۱	۰,۰۵	۰,۰۰۱	۰,۲	۰,۰۰۱	سطح معناداری
تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	رد	۱ تأیید	نتیجه تأیید یا رد
۰,۰۸۱	۰,۹۹۳	۰,۱۰۷	۰,۶۷۳	۰,۱۰۸	۰,۶۷	۰,۰۴۶	۰,۶۶۲	۰,۰۵۲	۰,۶۷	ضریب تعیین شده
۱۳,۳۷	۱۸۷۷۳,۳	۹,۴۱۸	۱۴۵,۹۵	۹,۴۵۹	۱۴۵,۹	۷,۶۹	۲۷۷,۷	۸,۶۴۳	۲۸۷,۶	آماره F
۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۶	۰,۰۰۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	سطح معناداری
تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	نتیجه تأیید یا رد

تخلفات سرعت غیرمجاز

حجم تردها

تخلفات سرعت غیرمجاز

میانگین تعداد دوربین‌های فعال

همانگونه که در جدول ۴-۱۴ مشاهده می‌شود، به ترتیب ضریب تعیین تعدیل شده، آماره مدل F، سطح معناداری مدل و نتیجه تایید و یا رد شدن مدل رگرسیونی برآورد شده نشان داده می‌شود. سطح معناداری مدل کمتر از ۵ درصد نشان دهنده آن است که آماره F مدل رگرسیونی به دست آمده از مقدار بحرانی جدول بزرگتر می‌باشد و در نتیجه آماره F مدل در ناحیه رد H_0 قرار می‌گیرد و معناداری مدل تأیید می‌شود. همچنین در جدول فوق نتایج برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیونی با در نظر گرفتن عدم یا وجود عرض از مبدأ مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار آماره F و ضریب تعیین تعدیل کننده مدل غیر خطی توانی^۱ در حالت بدون عرض از مبدأ، در هر دو متغیر مستقل از همه مدل‌ها بیشتر می‌باشند. لذا با توجه به بررسی‌هایی که بر روی همه مدل‌های رگرسیون صورت گرفته است مدل توانی بدون عرض از مبدأ به عنوان مدل رسمی رگرسیون بزرگراه تهران کرج انتخاب می‌شود.

مدل غیر خطی توانی متغیر تخلفات (V)، با متغیرهای مستقل حجم تردها (T) و میانگین تعداد دوربین‌ها (MC) هر کدام جداگانه بدست آورده و بعد رگرسیون خطی از مدل‌هایی که بدست آوردیم در نرم افزار SPSS می‌گیریم. فرمول مدل غیرخطی برای هر کدام از متغیرهای مستقل به شرح ذیل است:

$$V1 = (T)^{\beta 1} + \alpha = T^{0.564} \quad (15 - 4)$$

$$V2 = (MC)^{\beta 2} + \alpha = MC^{3.520} \quad (16 - 4)$$

با توجه نتایج جدول (۴-۱۴) مدل توانی بدون عرض از مبدأ می‌باشد لذا ($\alpha=0$) است. بعد از بدست آوردن معادلات فوق، رگرسیون خطی که جهت محاسبه فرمول نهایی از مدل‌های فوق گرفتیم مطابق ذیل می‌باشد:

$$V = 0.617 * V1 + 0.80 * V2 \quad (17 - 4)$$

¹ Power

۴-۳-۶-۳- برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی رگرسیون برای بزرگراه همت

جدول ۴-۱۵: نتایج برآورد مدل‌های خطی و غیرخطی در رگرسیون بزرگراه همت

مدل‌های رگرسیونی										عنوان متغیرها
Power		Cubic		Quadratic		Logarithm		Linear		
B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	
۰,۰۳۹	۰,۹۹۳	۰,۱۰۹	۰,۷۹۳	۰,۱۳	۰,۷۹	۰,۱۳	۰,۷۷۲	۰,۱۵۱	۰,۷۸۷	ضریب تعیین تعدیل شده
۲,۶۱۸	۸۵۴,۲۴	۲,۶۳	۵۳,۴۷	۳,۹۷۶	۸۱,۲	۷,۰۴	۱۴۰,۰۵	۸,۱۳۸	۱۵۲,۲۱	تخلفات سرعت غیرمجاز حجم تردها
۰,۱۱۴	۰,۰۰۱	۰,۰۶۴	۰,۰۰۱	۰,۰۲۷	۰,۰۰۱	۰,۰۱۲	۰,۰۰۱	۰,۰۰۷	۰,۰۰۱	سطح معداری
رد	تأیید	رد	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	نتیجه تأیید پارد
۰,۱۲۷	۰,۹۹۱	۰,۲۱۷	۰,۸۵۱	۰,۲۲۲	۰,۸۳	۰,۱۰۹	۰,۸۲۷	۰,۱۵	۰,۸۳۷	ضریب تعیین تعدیل شده
۲۱,۶۵	۱۴۹۸۶,۶	۱۴,۱۲۴	۲۷۲,۵	۲۱,۲۱۵	۳۶۵, ۱	۱۸,۳	۶۸۵,۱۱	۲۶,۰۰۹	۷۳۵,۱۷	تخلفات سرعت غیرمجاز میانگین تعداد دوربین‌های فعال
۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	سطح معداری
تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	تأیید	نتیجه تأیید پارد

همان‌طور که ملاحظه می‌شود همانند بزرگراه تهران کرج مقدار آماره F و ضریب تعیین تعدیل کننده مدل غیر خطی توانی در حالت بدون عرض از مبدأ، در هر دو متغیر مستقل از همه مدل‌ها بیشتر می‌باشد. لذا با توجه به بررسی‌هایی که بر روی همه مدل‌های رگرسیون صورت گرفته است مدل توانی بدون عرض از مبدأ به عنوان مدل رسمی رگرسیون بزرگراه همت انتخاب می‌شود.

مدل غیر خطی توانی با متغیر تخلفات (V)، حجم تردها (T) و میانگین تعداد دوربین‌ها (MC) مطابق با فرمول روبرو می‌باشد:

$$V1 = (T)^{\beta1} + \alpha = T^{0.554} \quad (18 - 4)$$

$$V2 = (MC)^{\beta2} + \alpha = MC^{2.791} \quad (19 - 4)$$

$$V = 1.522 * V1 + 1.009 * V2 \quad (20 - 4)$$

۴-۳-۶-۴- ارزیابی مدل رگرسیون تخلفات در بزرگراه‌های تهران کرج و همت

در ارزیابی که از مدل‌های برآورد شده از بهمن ماه سال ۹۲ تا اردیبهشت ماه سال ۹۳ صورت پذیرفت، مدل رگرسیونی بزرگراه تهران کرج از دقت بهتری نسبت به مدل بزرگراه همت برخوردار می‌باشد. نتایج این ارزیابی در جدول ذیل نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۶: نتایج ارزیابی مدل رگرسیون برآورد شده برای بزرگراه‌های تهران کرج و همت

MAPE	MAD	مدل	بزرگراه
٪۰٫۶۸	٪۷٫۸۸	$V=0.617*V1+0.80*V2$	تهران کرج
٪۲٫۳۱	٪۸٫۰۱	$V=1.522*V1+1.009*V2$	همت

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- ارزیابی نتایج تحلیل توصیفی ۵ بزرگراه تحقیق

در تحلیل توصیفی که در بخش (۴-۲) فصل چهارم از بزرگراه‌های تهران کرج، همت، نیایش، حکیم، یادگار صوت گرفت، نمودارهای تخلفات سرعت در بازه زمانی هفت ماه آخر سال‌های ۹۰ الی ۹۲ با تعداد میانگین دوربین‌های فعال ماهانه در هر بزرگراه مورد بررسی قرار گرفت. روند کاهش تخلفات در بعضی از بزرگراه‌های فوق به خوبی مشهود بود و که نشان از سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف در آن‌ها بود. در این قسمت مقایسه‌ای بین معادلات خط روند هر بزرگراه که نسبت سری‌زمانی تخلفات تقسیم بر میانگین تعداد دوربین‌های فعال در همان بازه زمانی می‌باشد، را انجام می‌دهیم.

معادلات مذکور به شرح ذیل می‌باشند:

$$y_t = 5226 - 119.897 * t \quad (1-6) \quad \text{تهران کرج:}$$

$$y_t = 1022.5 - 27.5698 * t \quad (2-6) \quad \text{همت:}$$

$$y_t = 620 - 15.3874 * t \quad (3-6) \quad \text{نیایش:}$$

$$y_t = 4928 - 193.873 * t \quad (4-6) \quad \text{حکیم:}$$

$$y_t = 990 + 24.8 * t \quad (5-6) \quad \text{یادگار:}$$

همانطور که مشاهده می‌شود شیب معادله خط روند به ترتیب در بزرگراه‌های حکیم، تهران کرج، همت، نیایش منفی و کوچکتر از بقیه می‌باشد. منفی بودن شیب خط نشان دهنده کاهش روند تخلفات در طول بازه زمانی انتخابی است. هرچه شیب کوچکتر (منفی) باشد نشان از کاهش بیشتر تخلفات نسبت به بزرگراه‌های دیگر می‌باشد. لذا در بزرگراه‌های مذکور به ترتیبی که عنوان شد کاهش تخلفات در بازه زمانی یکسان مشاهده گردید، و این نشان دهنده سودمندی دوربین‌های ثبت تخلف رانندگی در کاهش تخلفات در آن بزرگراه‌ها می‌باشد.

همانطور که در فرمول (۵-۶) مشاهده می‌شود، بزرگراه یادگار دارای شیب خط مثبت است که نشان‌دهنده افزایش روند تخلفات در بازه زمانی مذکور می‌باشد. لذا دوربین‌های ثبت تخلف در آن بزرگراه سودمند واقع نشدند.

نتیجه گیری فوق با در نظر داشتن شرایط ثابت حجم تردها و عوامل دیگر در طول بازه زمانی، برای تمام بزرگراه‌ها می‌باشد.

۵-۲- مقایسه تحلیل استنباطی سری زمانی با رگرسیون به تفکیک هر بزرگراه

در بخش تحلیل استنباطی (۳-۴) فصل چهارم، متغیر تخلفات سرعت در بزرگراه‌های تهران کرج و همت با سری زمانی و رگرسیون مدلسازی گردیدند. به همراه متغیر میانگین دوربین‌های فعال، متغیر حجم تردها هم مورد بررسی قرار گرفت. در جداول ذیل میزان خطای پیش‌بینی در هر مدل به تفکیک بزرگراه آمده است:

جدول ۱-۶: خطاهای پیش‌بینی تخلفات در مدل سری زمانی و رگرسیون (بزرگراه تهران کرج)

مدل	MAD	MAPE
سری زمانی	۵,۳۳٪	۰,۳۴٪
رگرسیون غیرخطی	۷,۸۸٪	۰,۶۸٪

همان‌طور که در بخش (۴-۳-۶) تحلیل گردید، بهترین مدل رگرسیون برای بزرگراه‌های تهران کرج و همت، مدل توانی غیرخطی بود. با توجه به این امر در جدول (۶-۱)، سری زمانی دارای خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل رگرسیونی برآورد شده می‌باشد.

جدول ۶-۲: خطاهای پیش‌بینی تخلفات در مدل سری‌زمانی و رگرسیون (بزرگراه همت)

مدل	MAD	MAPE
سری‌زمانی	۷,۸۳٪	۰,۶۰٪
رگرسیون غیرخطی	۸,۰۱٪	۲,۳۱٪

در بزرگراه همت همانند بزرگراه تهران کرج، مدل سری‌زمانی دارای خطای پیش‌بینی کمتری به نسبت مدل رگرسیون غیرخطی می‌باشد. هرچه خطای پیش‌بینی در مدل های برآورد شده کمتر باشد، مدل در پیش‌بینی قویتر است و بهتر عمل می‌کند. لذا در هر دو بزرگراه مدل سری‌زمانی بهتر از رگرسیون پیش‌بینی را انجام می‌دهد. در مقایسه‌ای که در بین خطاهای مدل سری‌زمانی دو بزرگراه انجام می‌دهیم، بزرگراه تهران کرج نسبت به همت دارای خطای پیش‌بینی کمتری است و فاصله داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های واقعی کمتر بوده است.

تفاوتی که بین سری‌های زمانی با روش‌های رگرسیونی وجود دارد، این است که در سری‌های زمانی سعی می‌شود با داده‌های گذشته مقادیر آینده پیش‌بینی گردد در حالی که در رگرسیون با استفاده از متغیرهای دیگر که در پیش‌بینی متغیر وابسته دخیل هستند این امر صورت می‌گیرد. انتخاب مجموعه کاملی از متغیرهای پیشگو در معادله رگرسیون از اهمیت زیادی برخوردار است. حتی متغیرهای کیفی که بتوان به صورت کمی برآورد نموده و در معادله استفاده کرد به پیش‌بینی دقیق‌تر کمک شایانی خواهد نمود. به همین ترتیب سری‌های زمانی هم به شدت به داده های گذشته خود نیازمندند، هرچه داده‌های بیشتری از قبل در اختیار قرار گیرد مدل از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. سری‌های زمانی براساس الگوی زمانی گذشته خود به برآورد داده‌های آتی می‌پردازند.

پیشهادات:

- ۱- استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی به همراه سری های زمانی و رگرسیون، برای پیش بینی میزان تخلفات بزرگراه های شهری به همراه میزان حجم تردد آنها و عوامل کیفی دیگر که به صورت کمی برآورد شده است.
- ۲- بررسی سری های زمانی چند متغیره بزرگراه هایی که در امتداد هم قرار دارند. این امر می تواند بمنظور شناسایی الگوهای مشترک و مقایسه بین سری های زمانی استفاده گردد.
- ۳- بررسی سری زمانی تخلفات در ساعات مختلف شبانه روز، بمنظور شناسایی اوج ساعات ترافیک در بزرگراه های ممتد یا موازی و مدیریت بهینه جهت جلوگیری از ترافیک و ازدحام در آنها.

فهرست مراجع:

[۱] آرمان نیا ع.، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد: "نقش دوربین‌های مداربسته کنترل سرعت در کاهش تصادفات راه‌های برون شهری، نمونه موردی محور اندیمشک-اهواز-بندر امام"، دانشکده مهندسی گروه عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز

[2] Van der Veer R.C.P. and van der Zanden M.S.c A, (2009), "Data mining for intelligence led policing" Data Mining Case Studies, ISBN 978-1-60558-674, pp: 62.

[۳] مومنی ا. و ولیزاده ا.، (۱۳۹۳)، " بررسی آثار قانون جدید رسیدگی به تخلفات رانندگی در ایمنی ترافیک و کاهش تصادفات"، فصلنامه پژوهشی راهور، سال سوم، شماره ۱۰، ص ۳۷-۴۱.

[4] Elvik .R. (2000),"How much do road accidents cost the national economy?" *Accident Analysis & Prevention*, 32(6),pp: 849-851.

[5] Hejazi R. Shamsudin M.N. Radam A. Rahim K.A. Ibrahim Z.Z. and Yazdani S. (2013) " Estimation of traffic accident costs: a prompted model" ,*International journal of injury control and safety promotion*, 20(2), pp:152-157.

[۶] طبیبی م.، فتحیان م. و موسوی اشکوری ش.ا.، (۱۳۸۶)، "برنامه ریزی راهبردی توسعه سیستم های حمل و نقل هوشمند جاده ای کشور"، مجله علمی پژوهشی پژوهشنامه حمل و نقل، ص ۲۱-۶.

[7] Chowdhury M.A., and Sadek A.W, (2003), "Fundamentals of intelligent transportation systems planning",vol 1 ,Artech House.inc,pp:1-2.

[8] Weintrit A.,and Neumann T, (2011), "Transport Systems and Processes: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation", *CRC Press*, pp: 41-42.

[9] Nowacki G., (2012)," Development and Standardization of Intelligent Transport Systems",*international journal on marine navigation and safety of sea transportation*,vol 1,num 3,pp:1.

[۱۰] فریبرز ف.، شهپرافراشته ا.، و سالاری ا.، (۱۳۸۱)، "مقدمه ای بر سیستم‌های حمل و نقل هوشمند"، شورای اصلاحات وزارت راه و ترابری کمیته فناوری اطلاعات، جلد اول، ص ۷-۱۰.

[۱۱] بهروز ح. فرشید ب. و سرکار ع.، (۱۳۸۸)، "سامانه‌های مدیریت سرعت در نظام حمل و نقل و ترافیک"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات شرکت کنترل ترافیک تهران، تهران، ص ۱۷۳.

[۱۲] سپهری ا. ا. رضایی ا. ح. و شاهمیرزایی ا.، (۱۳۹۳) "نقش دروبین‌های ثبت تخلفات سرعت در کاهش تلفات جاده‌ای"، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، ص ۳-۱۰، تهران.

[13] Klein L. A. Mills M.K. and Gibson D. R. P., (2006) "Traffic Detector Handbook : Third Edition " , Transportation Research Board , Volume 2, FHWA-HRT, pp: 6-20,

[۱۴] مدقالجی ع.، و عباسی و.، (۱۳۹۳)، "بررسی اثر پذیری دوربین‌های کنترل سرعت ثابت در تغییر رفتار رانندگان در ارتکاب به تخلفات سرعت با استفاده از روش آماری سری‌های زمانی بر روی داده‌های دستگاه‌های ترددشمار آنلاین (مطالعه موردی آزادراه زنجان-تبریز)"، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، ص ۹-۱، تهران.

[15] Klein L. A. Mills M.K. and Gibson D. R. P. (2006) "Traffic Detector Handbook : Third Edition " , Transportation Research Board , Volume 1, FHWA-HRT, pp: 2-15.

[۱۶] سپهری ا. ا. رضایی ا. ح.، (۱۳۹۳)، "کاهش پایدار بیش از ۴۰٪ تصادفات مرگبار جاده‌ای در ایران مبتنی بر راهکار پیشنهادی سازمان ملل متحد و اتحادیه اروپا"، نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای، ص ۲۶-۳۹، تهران.

[۱۷] احمدی م.، و علیمحمدی ع.، (۱۳۹۳)، "پیش‌بینی تصادفات رانندگی با استفاده از مدل رگرسیون چند سطحی و پارامترهای زمانی"، *فصلنامه مطالعات پژوهشی راهور*، سال سوم، شماره ۱۱، ص ۲.

[18] Hermans E., Brijs T., Wets G., and Vanhoof K. (2009) "Benchmarking road safety: lessons to learn from a data envelopment analysis", *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), pp:178-182.

[۱۹] حسامی س.، قلی نژاد د.، و حقیقی.ف.، (۱۳۹۰)، "بررسی قدرت داده‌کاوی نرم افزار وکا در حل موضوعات ترافیکی"، *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، ص ۳ و ۲.

[۲۰] کاظمی پ.، و حسین پور ج.، (۱۳۹۰)، "کاربرد داده‌کاوی در سازمان های قضایی و پلیسی و نقش آن در شناسایی الگوهای جرم و کشف جرائم"، *پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات*، ص ۴-۲.

[21] Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., and Smyth P. (1996) "From data mining to knowledge discovery in databases", *AI magazine*, 17(3), 37, pp:40-45.

[22] Han j., and Kamber .m. (2001) "Data Mining: Concepts and Techniques", *San Diego Academic Press*, PP:5

[23] Crashin S., Usoni R., and Chandler A. (2015) "Data Mining Methods: Strategies and Algorithms on Different Applications", *Journal of Mechatronics*, 3(1), pp:40-44

[24] Chapman P., Clinton J., Kerber R., Khabaza T., Reinartz T., Shearer, C., and Wirth R. (2000) "The CRISP-DM User Guide", *NCR Syst. Eng. Compenhagen*..pp:1-14

[25] Chatfield Chris. (2000), "Time-series forecasting", *Chapman & C Hall/CRC, acid-free paper*, PP 20

[۲۶] حسن زاده ج.، نجفی ف.، و مرادنظر م.، (۱۳۹۴)، "چگونه یک مدل مناسب برای داده‌های سری زمانی ایجاد کنیم؟" *مجله تخصصی اپیدمیولوژی ایران*، شماره ۱، دوره ۱۱، ص ۱.

[27] C Chatfield, "The Analysis Of Time Series An Introduction" مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی، جلد اول، مترجمان: نیرومند ح، بزرگ نیا، انتشارات دانشگاه مشهد، مشهد، ص ۱۳۲.

[۲۸] خرمی م، و بزرگ نیا، (۱۳۸۶)، "تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم افزار MINITAB 14"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات سخن گستر، مشهد، ص ۴۵، ۱۵۰، ۴۴، ۱۵۲، ۱۴۵.

[۲۹] حسن زاده ج، نجفی ف، و مرادی نظر م، "چگونه یک مدل مناسب برای داده‌های سری‌زمانی انتخاب کنیم؟"، مجله تخصصی اپیدمیولوژی ایران ۱۳۹۴، دوره ۱۱ شماره ۱، صفحات ۹۴-۱۲۰.

[30] Reinert G.,(2010) "Time Series.", *Hillary Term*, pp: 12.

[31] koopman s.j,(2012) "time series analysis by state space methods", *oup oxford*, PP:

[32] Brockwell P.J, Davis R.A, (2009) "Time series: theory and methods" , *Springer*, pp: 44-79

[۳۳] جاویدی ر، و شریفی م.ب، (۱۳۹۰) "استفاده از مدل‌های اتفاقی در شبیه‌سازی جریان رودخانه و پیش‌بینی دبی متوسط سالانه رودخانه توسط تحلیل سری‌های زمانی"، *کنفرانس بین‌المللی منابع آب*، ص ۷-۵، شاهرود.

[۳۴] صفارزاده م. و باقری ر، (۱۳۹۱) "مطالعات تطبیقی جریمه‌های ترافیکی راهنمایی و رانندگی در ایران و سایر کشورها"، *فصلنامه علمی ترویجی راهور، سال نهم*، شماره ۱۷. ص ۶۴.

[۳۵] رحیمی ام، احدی م. ر، و عباسی و، (۱۳۹۳) "مطالعه تحلیلی میزان نقش بازدارندگی دوربین‌های ثبت تخلف سرعت در جاده‌ها در وقوع تصادفات (مطالعات موردی: آزاد راه زنجان- تبریز)"، *نخستین همایش سیستم‌های حمل و نقل هوشمند جاده‌ای*، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، ص ۱، تهران.

[۳۶] عابدی ح و محسنی م.، (۱۳۹۳)، "بررسی تاثیر دوربین‌های ثبت تخلفات رانندگی در مدیریت سرعت شبکه راه‌های استان مرکزی"، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای و سوانح ریلی و هوایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، ص ۱، زنجان.

[۳۷] پورحسن ف.، قاسمی ب.، و سمتائی ح.ر.، (۱۳۹۳) "اثرات نصب سامانه‌های کنترل سرعت بر کاهش تصادفات بزرگراه‌های شهر تهران"، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای و سوانح ریلی و هوایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، ص ۱۰-۱، زنجان.

[38] Bahadorimonfared A., Soori H., Mehrabi Y., Delpisheh A., Esmaili A., Salehi M. and Bakhtiyari M., (2013), " Trends of fatal road traffic injuries in Iran (2004–2011)", **plos one**, pp:1-5

[۳۹] کلانتری ن.، خاورزاده ر.، و قیاسی ا.، (۱۳۹۲) " پیش‌بینی تعداد مسافران قطار سبک شهری مشهد به روش سری‌های زمانی فصلی "، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک، ص ۲-۱، تهران

[۴۰] رحیم اف ک.، و صادقی کلینی م.، (۱۳۸۸) " تعیین عوامل موثر در شدت تصادفات آزادراهی و طراحی مدل آنها (مطالعه موردی: آزادراه تهران - کرج) "، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هشتم، شماره ۲

[۴۱] جعفری ا.، و صمدیان م.، (۱۳۹۱) "کاربرد داده کاوی در بررسی رفتار رانندگان متخلف در کلان شهرها"، مطالعات راهور-فصلنامه علمی-ترویجی، سال نهم، شماره ۱۷

[42] Guin A., (2006) "Travel time prediction using a seasonal autoregressive integrated moving average time series model", In Intelligent Transportation Systems Conference, *ITSC'06- IEEE*, pp. 493-498.

[43] Vanlaar W., Robertson R. and Marcoux K., (2014) " An evaluation of Winnipeg's photo enforcement safety program: Results of time series analyses and an intersection camera experiment", *Accident Analysis & Prevention*, 62, pp:238-240.

[44] Chandran A, Perez-Nunes R., Bachani A M., Hajar M., Salinas-Rodriguez A. and Hyder A.,(2014) "Early impact of a national multi-faceted road safety intervention program in Mexico: results of a time-series analysis", *PloS one*,9(1), pp:1-3.

[45] Novoa A.M., Perez K.,and Santamarina-Rubio E.,(2009) " Effectiveness of speed enforcement through fixed speed cameras: a time series study",*Inj Prev*, 16, pp:12-16

[46] Michael D., Keall , Lynley J. Povey,and William J. Frith,(2001)" Further results from a trial comparing a hidden speed camera programme with visible camera operation", *Accident Analysis & Prevention*,Volume 34, Issue 6, November 2002, pp; 773-777

[۴۷] حاجیلو م.، فهیمی ف.، و فیاضی م.(۱۳۸۴)"نقش جریمه در کاهش تخلفات رانندگی درون شهری"، نخستین کنفرانس بین المللی حوادث رانندگی، دانشگاه تهران، ص ۴-۲.

[48] Box G. E., Jenkins G. M., & Reinsel G. C.,(2011)"Time series analysis: forecasting and control" ,*John Wiley & Sons*,(Vol. 734),pp:143-145

[49] Reinert G.,(2010) "Time Series." , *Hillary Term*, pp:21-22.

[۵۰] w Donald Chi and،.M.P Douglas (۱۳۸۱) " کاربرد تحلیل رگرسیون غیرخطی و کاربرد آن"، جلد اول، رضایی ب.ح.، و بزرگ نیا ا.، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۵۰-۳۰.

[۵۱] آیتی ا.، ذاکری ج. ع.، و صادقی ع. ا.، (۲۰۱۱)"مدل پیش بینی شدت وقوع تصادف برای گذرگاه های ریلی_جاده ای ایران"، مهندسی حمل و نقل، سال سوم، شماره سوم، ص ۲۲۱.

[۵۲] همت فر م.، حسینی ع. ا.، شاه ویسی ف.، و نجفی ی.،(۱۳۹۰)"روابط خطی و غیرخطی بین متغیرهای حسابداری و بازده سهام شرکت های صنعت خودرو و ساخت قطعات"، پژوهشنامه حسابداری مال و حسابرسی، سال سوم، شماره دوازدهم، ص ۱۴۵-۱۵۰.

[۵۳] بریس ن.، کمپ ر.، و سنلگار ر.، (۱۳۸۸)، "تحلیل داده های روانشناسی با برنامه اس پی اس اس"، چاپ اول، علی آبادی خ.، و صمدی ع.، انتشارات نشر دوارن، تهران، ص ۳۳۰-۳۵۵.

ABSTRACT:

The United Nations General Assembly introduced the decade 2011 to 2020 as a decade of reduce the traffic fatalities. This organization, in different resolutions, has urged all the countries pay their especial attention to reduce the road accidents. The speed factor plays a key role in reducing the risk of the road accident; and one of the deterrence factors for unauthorized speed of cars is recording violation camera of the traffic police NAJA.

The aim of this study is to analyse the effectiveness of recording violation cameras of the taraffic police in the studied highways in Tehran Metropolise. This occurs by use of data analysis techniques such as modeling through time series and regression.

In this thesis, by descriptive analysis of unauthorized speed violations in 5 arterial and crowded highways in Tehran, we study the process of violations along with the number of active cameras in there. In the inferential analysis section, we analysed the Tehran, Karaj and Hemat highways, in which we had studied them in descriptive analysis, by modeling time series and non-liner power regression model. In applying assessment data, the models fitted by Time series had less prediction errors than their equivalent regression models. In this prediction, the violation rate reduced by 32% in Tehran-Karaj highway and 28% in Hemat highway, compared to the violations in the same month in 2014 (1392). This shows the effectiveness of cameras in the studied range of these highways.

Keywords: Data analysis, Traffic prediction, Time series, Regression, Recording violation camera



E-learning Center, University of Shahrood

Faculty Computer Engineering

Benefit Analysis Of Traffic Violations Recorded By Traffic Cameras

Haniyeh Daghighnezhad

Supervisor: Dr. hoda Mashayekhi

Data: January 2016