

## توسعه روابط سرعت مکانی و زمانی در ظرفیت آزادراه تهران و کرج

### مقاله علمی - پژوهشی

امیرحسین جشینیان\*، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران  
مهدی تمدن گوهر، دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Ajashnian@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۳۶۱-۳۷۲

### چکیده

برای حفظ ایمنی و مدیریت بهینه ترافیک، رعایت سرعت‌های مکانی و زمانی بر اساس داده‌های بومی و ظرفیت بزرگراه ضروری است. به‌ویژه در مواجهه با کاهش ناگهانی سرعت خودروی جلویی، در این پژوهش، داده‌های ثبت‌شده از دوربین‌های ترددشمار و پایگاه داده پلیس راهور در سال ۲۰۲۱ جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. روش تحقیق شامل تحلیل همبستگی پیرسون و مدل‌سازی روابط سرعت مکانی و زمانی بر اساس داده‌های تجربی بوده است. نوآوری این پژوهش در ارائه مدل‌های کالیبره‌شده بر اساس شرایط ترافیکی بومی ایران و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی است. نتایج نشان داد که بین سرعت مکانی و زمانی رابطه مثبت و بسیار قوی وجود دارد و با افزایش سرعت زمانی، سرعت مکانی نیز افزایش می‌یابد. همچنین، سطح معناداری آزمون برابر صفر است که نشان‌دهنده قطعیت آماری نتایج است. این یافته‌ها می‌توانند در طراحی مدل‌های ترافیکی، بهینه‌سازی ظرفیت آزادراه‌ها و افزایش ایمنی جاده‌ها مؤثر باشند.

واژه‌های کلیدی: روابط سرعت مکانی، زمانی، ظرفیت آزادراه، تهران و کرج

### ۱-مقدمه

سالانه مشکلات ترافیکی اعم از تراکم، آلودگی‌های هوا، تصادفات فراوان، افزایش غیر قابل قبول زمان سفرها، خسارت‌های مالی و همچنین خسارت‌های جانی به علت تصادف‌های بیش از حد جاده‌ای و ناکارآمدی سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل از جمله مشکلات پیش روی اغلب کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه می‌باشند. آلودگی محیط‌زیستی، هزینه‌های جانی و مالی و همچنین تصادفات، افزایش مصرف سوخت، وسعت منابع تخصیص داده شده برای ساخت آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و شریان‌ها و هزینه هنگفت احداث سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل و همچنین سایر هزینه‌های جانی که مرتبط با آن‌ها می‌باشد باعث از بین رفتن مقادیر زیادی از منابع انسانی و اقتصادی در کشور می‌شود

## ۲- سوابق تحقیق

بر تغییرات سالانه حجم ترافیک به کار رفته است. همچنین، یک مدل پیش‌بینی ترکیبی مبتنی بر رگرسیون کمر برای پیش‌بینی حجم ترافیک ساعتی پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد که بارش‌ها تأثیر متفاوتی بر ترافیک دارند و تعطیلات جشن بهار موجب تغییرات خاصی در حجم ترافیک می‌شود. این مطالعه می‌تواند اطلاعات مفیدی برای تحلیل فعالیت‌های حمل‌ونقل بزرگراهی با توجه به تأثیرات آب و هوا و تعطیلات فراهم آورد (لین و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه‌ای دیگر، هوانگ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی الگوهای ارتباط فضایی و زمانی جریان مسافری در بزرگراه‌های چنگدو پرداخته و عوامل مؤثر بر آن را شناسایی کرده‌اند. داده‌های مورد استفاده شامل جریان مسافری واقعی در بزرگراه‌ها، داده‌های نور شبانه ماهواره‌ای و داده‌های اجتماعی-اقتصادی بوده است. نتایج نشان می‌دهد که جریان مسافر در چنگدو تجمع فضایی دارد و در غرب چنگدو بیشتر از شرق آن است، همچنین یک ساختار دو هسته‌ای "ستاره‌ای" با مرکزیت منطقه شهری اصلی و وائیزو شکل می‌دهد. تحقیقات نشان داد که شاخص ناحیه نور شبانه بیشترین قدرت توضیح‌دهی را در تفکیک فضایی ترافیک مسافری دارد و عوامل اقتصادی نظیر تولید ناخالص داخلی سرانه و طول بزرگراه‌ها نیز تأثیرات تقویتی دارند. این یافته‌ها می‌توانند به بهبود برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمومی و توسعه اقتصادی در چنگدو کمک کنند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹). ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) روشی برای استنباط حجم ترافیک بزرگراه‌ها ارائه می‌دهند که از تعاملات فضایی و تقویت مرکزیت میان‌بری بهره می‌برد. در این روش، عوامل اجتماعی-اقتصادی شهرهای مبدا و مقصد در شاخص BC وارد می‌شوند تا شاخص مرکزیت میان‌بری تقویت شده ایجاد شود. سپس با استفاده از یادگیری ماشین، رابطه غیرخطی بین ODBC و جریان ترافیک بزرگراه تحلیل می‌شود تا حجم ترافیک به دقت استنباط شود. نتایج نشان می‌دهند که این روش پیشنهادی از روش‌های پایه‌ای که فقط جذابیت‌های شهری را در نظر می‌گیرند، دقت بالاتری در پیش‌بینی حجم ترافیک دارد و در بهبود معیارهای R2 و کاهش موفق‌تر عمل می‌کند. این روش علاوه بر دقت بیشتر، قابلیت تفسیر بالایی دارد و می‌تواند به‌طور مؤثری در تحلیل و پیش‌بینی حجم ترافیک بزرگراه‌ها کاربرد داشته باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴). رفتار رانندگان در بزرگراه‌ها با روابط سرعت

در پژوهشی با عنوان کالیبراسیون رابطه بین سرعت متوسط مکانی از سرعت متوسط زمانی بر اساس رفتار رانندگان ایران، مطالعه موردی محور تهران - قم که توسط سیف در سال ۱۳۹۵ انجام گرفت به موارد زیر پرداخته شد: در این مقاله به تعیین سرعت متوسط مکانی از طریق سرعت متوسط زمانی برای یکی از آزادراه‌های ایران و مقایسه آن با HCM پرداخته شده است، دیده شده است اگر قرار باشد مدلی برای سرعت متوسط مکانی ارائه شود که خطای کمتری داشته باشد. باید مدل‌های مربوطه به مسیر، شب یا روز بودن و نوع خطوط عبوری افزاز شود (سیف و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در تحقیق دیگری مشخصات جریان ترافیک و ماهیت شناخت آن توسط امیر فرازند در سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت: در توصیف جریان‌های ترافیکی به صورت کمی، هدف اصلی شناخت تغییرات ذاتی مشخصات و ویژگی‌های جریان ترافیک و همچنین تعریف محدوده‌هایی نرمال برای رفتار رانندگان است. به این منظور باید مجموعه‌ای از پارامترهای کلیدی را تعریف نمود که قابلیت اندازه‌گیری داشته باشند. مهندسان ترافیک برای ارزیابی و تحلیل میزان بهبود در تسهیلات ترافیکی از این پارامترها و همچنین دانشی که محدوده‌های رفتاری نرمال دارند بهره می‌برند. در این پژوهش به تعریف و توصیف پارامترهایی که برای بدست آوردن اهداف فوق مدنظر قرار داده شده و همچنین ویژگی‌هایی که عموماً در جریان ترافیک مشاهده می‌شوند مورد بررسی قرار می‌گیرند. این پارامترها برای مهندسان ترافیک نمادی از واقعیت بوده و زبان گویایی هستند که امکان توصیف جریان ترافیک را فراهم می‌آورند (فرازند، ۱۳۹۶). علاوه بر بررسی ویژگی‌های جریان ترافیک و رفتار رانندگان، مطالعه‌ی تأثیر عوامل محیطی مانند وضعیت آب‌وهوا و تعطیلات بر حجم ترافیک نیز در پژوهشی توسط لین و همکاران (۲۰۲۲) مورد مطالعه قرار گرفته است که به بررسی روابط بین وضعیت آب و هوا، تعطیلات و حجم ترافیک با استفاده از داده‌های چندمنبعی از منطقه گوانگ‌دونگ-هنگ‌کنگ-مکائو می‌پردازد. مطالعه با تحلیل داده‌های ساعتی وضعیت آب و هوا و حجم ترافیک، تأثیر عوامل ترافیکی، آب و هوایی و زمانی را بر حجم ترافیک بین مبدا و مقصد بررسی می‌کند. مدل‌های رگرسیون تصادفی و جنگل تصادفی برای شناسایی عوامل مؤثر

وسایل نقلیه را می‌توان آزاد در نظر گرفت، ایجاد شد. بررسی تجربی نشان می‌دهد که مقداری در حدود ۶ ثانیه در چنین ترافیکی بر خلاف ۳ ثانیه در برآورد PTSF در نظر گرفته شده است. یکی دیگر از پیامدهای مهم PTSF این است که چند راننده به صورت دلخواه در یک دسته حرکت می‌کنند، حتی اگر بیش از ۶ ثانیه فاصله داشته باشند (پریتام ساها، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگری مسیرهای رفت و آمد بین وسایل نقلیه در جریان ترافیک تقاطع‌ها یکی از متغیرهای مهم برای تنظیم زمان مناسب سیگنال و طراحی پیکربندی تقاطع است. بسیاری از مطالعات برای محاسبه میزان جریان اشباع از سرریزهای ثابت تخلیه استفاده می‌کنند و مطالعات کمیاب به طور کمی رابطه پیشرفت و سرعت جریان اشباع را بررسی می‌کنند. این مطالعه تلاش می‌کند تا روابط پیشرو - سرعت جریان ترافیک اشباع در تقاطع سیگنال شده را مدل کند. پنج تقاطع معمولی با تقاضای زیاد تردد در شهر گلدن ساحت برای جمع آوری داده‌ها در مورد سرعت تخلیه خودروها و حرکت به جلو مورد بررسی قرار گرفته است. روش حداقل مربع و آزمون درجه مناسب برای مدل سازی روابط حرکت سرعت و سرعت در تقاطع‌های زمان‌بندی شده و مقایسه عملکرد اتصالات مدل‌ها استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مسیر پیشرفت با سرعت ارتباط دارد. با کاهش سرعت عبور از تقاطع‌ها، مسیر حرکت افزایش می‌یابد. از روابط تجربی و کمی کالیبره شده بین سرعت و مسیر حرکت می‌توان برای محاسبه میزان جریان اشباع در تقاطع‌ها با سرعت تخلیه مختلف و حمایت بیشتر از طراحی تقاطع‌ها با تقاضای زیاد ترافیک استفاده کرد (یانگ تنگ، ۲۰۲۰). علاوه بر مطالعات ذکر شده، پژوهش چانگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر تصادفات بر تأخیر ترافیکی پرداخته است. در این مطالعه، توسعه روشی برای کمی‌سازی تأخیر ناشی از تصادفات در آزادراه‌های شهری و شناسایی عوامل مؤثر بر آن است. در این مطالعه، از برنامه‌ریزی عدد صحیح دودویی برای تخمین گستره زمانی و مکانی تأخیر ناشی از تصادفات استفاده شده که مبتنی بر داده‌های حسگرهای حلقه القایی است. روش پیشنهادی با حل یک مسئله BIP، محدوده تراکم ایجادشده را بر اساس تفاوت‌های سرعت بین جریان عادی و شرایط ناشی از تصادف تخمین می‌زند. نتایج این مطالعه می‌تواند در ارزیابی عملکرد سیستم‌های مدیریت تصادفات و بهبود بهره‌وری عملیات ترافیکی مؤثر باشد.

نتیجه یک مطالعه بر روی رفتار در بزرگراه‌های سریع‌السیر مالزی را شرح می‌دهد. به دنبال رفتار رانندگان با خودرو می‌توان یکی از عوامل اصلی وقوع تصادفات جاده‌ای مانند برخورد عقب خودروها در بزرگراه‌ها را در نظر گرفت. هدف از این مطالعه، بررسی فاصله ایمن رانندگان در بزرگراه‌ها با سرعت‌های مختلف کار بود. یک دستگاه ضبط خودکار ترافیک متصل به لوله‌های پنوماتیک برای ضبط حرکت ترافیک در سه بخش منتخب بزرگراه مالزی به مدت شش روز متوالی استفاده شد. بیش از صد و سی و سه هزار (۱۳۳،۰۰۰) داده پیشرفت و سرعت در تجزیه و تحلیل دخیل بود. مسیر حرکت و سرعت مربوطه جمع‌آوری شده بر اساس نوع وسیله نقلیه در پنج گروه طبقه‌بندی شد. مدل‌های رگرسیون خطی برای ایجاد ارتباط بین فاصله راهپیمایی و سرعت استفاده شد. روابط ایجاد شده می‌تواند به عنوان یک معیار معتبر در نظر گرفته شود زیرا مقادیر  $R^2$  برای هر یک از روابط در محدوده ۰.۸۰ تا ۰.۹۹ است و می‌تواند برای تخمین فاصله ایمن به دنبال راننده با سرعت معین استفاده شود. میانگین زمان پاسخگویی راننده در یک بزرگراه ۳،۰۶ ثانیه است که ۱،۹ ثانیه بیشتر از کسانی است که در جاده دو بانده تک راه حرکت می‌کنند. چنین تنوعی در زمان پاسخگویی نشان می‌دهد که میزان پرخاشگری رانندگان در جاده‌های دو بانده تک راه بیشتر از رانندگان در بزرگراه است (اوسی پوان، ۲۰۱۹). زمان پیشرفت ترجیحی رانندگان در بزرگراه‌های دو بانده با ترافیک ناهمگن، بررسی کفایت یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد در بزرگراه‌های دو خطه، درصد زمان دنباله‌روی تحت تغییر رفتار راننده در انتخاب مسیرهای پیشرو می‌پردازد. مطالعه میدانی در بزرگراه دو خطی در هند انجام شد که ناهمگونی را در ترکیب ترافیک خود نشان می‌دهد و طیف وسیعی از سطوح جریان هنگام جمع‌آوری داده‌ها پوشش داده شد. توزیع‌های مناسب جهت حرکت بر اساس آزمون تناسب انتخاب شد. توزیع نمایی یا Erlang استعداد خود را در توصیف هدایت تا نسبت حجم به ظرفیت ۰،۳ و گاما و توزیع نمایی برای داده‌های پیشرو مربوط به نسبت حجم به ظرفیت ۰،۴ و بالاتر سازگار است. در حدود ۴۰٪ رانندگان هنگام حرکت شدید از مسیرهای مستقیم ۲ ثانیه یا کمتر استفاده می‌کنند. این موارد در موارد متعددی ناامن تلقی می‌شوند. علاوه بر این، روابط سرعت و سرعتی برای ایجاد آستانه پیشروی که فراتر از آن

ساعات اوج و غیر اوج بوده و برای تحلیل رفتار جریان ترافیکی در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

این پژوهش بر روی آزادراه تهران-کرج متمرکز شده است که یکی از پر رفت و آمدترین و مهم‌ترین محورهای ارتباطی کشور محسوب می‌شود. این آزادراه نقش کلیدی در اتصال پایتخت به استان‌های غربی و شمال‌غربی کشور دارد و روزانه حجم بالایی از ترافیک را تحمل می‌کند.

خصوصیات محور مطالعاتی:

-نوع راه: آزادراه چندخطه با دسترسی کنترل شده  
ویژگی‌های ترافیکی:

-حجم بالای تردد وسایل نقلیه در ساعات اوج

-تغییرات سرعت ناشی از ترافیک متراکم

-وابستگی زیاد به شرایط جوی و تصادفات

ویژگی‌های هندسی:

-وجود چندین رمپ ورودی و خروجی

-طراحی با حداقل سه باند رفت و برگشت در بیشتر مقاطع

-تغییرات شیب و انحنای مسیر در برخی بخش‌ها

هدف از انتخاب این محور:

با توجه به اهمیت این آزادراه در شبکه حمل‌ونقل کشور، تحلیل رابطه بین سرعت مکانی و زمانی در این مسیر می‌تواند به بهبود مدیریت ترافیک، کاهش تصادفات و افزایش ایمنی جاده کمک کند. با توجه به عنوان که تحلیل روابط میان سرعت زمانی و مکانی در آزاد راه کرج- تهران می‌باشد، می‌توان در ابتدا به شناسایی وضعیت ترافیکی مسیر در ساعات غیراوج ترافیک که مطابق با آیین نامه HCM حجم ترافیک کمتر از ۱۳۰۰ pcr/hr آورده شده است، استفاده نمود و برای محاسبه سرعت جریان آزاد با استفاده از خصوصیات فیزیکی راه، بر اساس استاندارد HCM برای آزادراه از رابطه (۱) استفاده می‌شود (HCM, ۲۰۲۲).

$$FFS = BFPS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad (1)$$

که در رابطه (۱)  $FFS$  سرعت جریان آزاد بر حسب کیلومتر

بر ساعت،  $BFPS$  سرعت جریان آزاد پایه بر حسب کیلومتر

بر ساعت،  $f_{LW}$  فاکتور تعدیل عرض خط بر حسب کیلومتر

بر ساعت،  $f_{LC}$  فاکتور تعدیل فاصله جانبی عاری از مانع در شانه

سمت راست بر حسب کیلومتر بر ساعت،  $f_M$  فاکتور تعدیل نوع

میانه مسیر،  $f_A$  فاکتور تعدیل دسترسی بر حسب کیلومتر بر

ساعت می‌باشد.

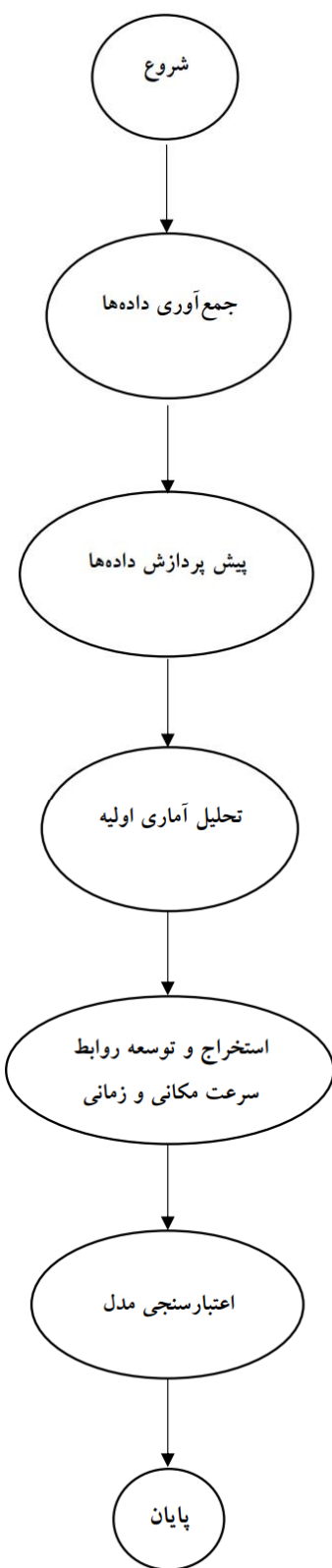
روش مذکور با داده‌های تصادفات از شش آزادراه اصلی در اورنج کانتی، کالیفرنیا، بررسی شده است (چانگ و همکاران ۲۰۱۲).

در این پژوهش، از مطالعات پیشین برای استخراج و بررسی روابط بین سرعت مکانی و سرعت زمانی استفاده شده است. تحقیقات انجام شده توسط سیف و همکاران (۱۳۹۵) در زمینه کالیبراسیون رابطه بین این دو نوع سرعت، به‌عنوان مبنایی برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، پژوهش‌های انجام شده توسط فرازمنند (۱۳۹۶) در زمینه شناخت مشخصات جریان ترافیک و تحلیل رفتار رانندگان، در تعیین متغیرهای کلیدی این تحقیق مؤثر بوده است. مطالعه اوسی پوان (۲۰۱۹) که رفتار رانندگان و ارتباط بین سرعت و فاصله ایمن را بررسی کرده است، در تعریف معیارهای تحلیل روابط سرعتی در این پژوهش کاربرد داشته است. علاوه بر این، مدل‌سازی‌های انجام‌شده توسط ساها (۲۰۱۹) و یانگ تنگ (۲۰۲۰) برای تحلیل روابط بین هدوی و سرعت در جریان اشباع، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند تا امکان مقایسه روابط استخراج شده با سایر مدل‌های معتبر جهانی فراهم شود. بر اساس این مطالعات، در تحقیق حاضر تلاش شده است تا با استفاده از داده‌های بومی، روابط میان سرعت مکانی و زمانی در آزادراه تهران-کرج توسعه داده شود و دقت مدل‌های موجود برای شرایط ترافیکی ایران مورد ارزیابی قرار گیرد.

### ۳-روش تحقیق

مطابق فلوجارت شکل ۱، در این مطالعه ابتدا داده‌ها جمع‌آوری و پس از پیش‌پردازش، تحلیل آماری اولیه انجام می‌شود. سپس، روابط سرعت مکانی و زمانی توسعه یافته و مدل اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت، تحلیل‌ها به پایان می‌رسد. در این پژوهش، داده‌های مربوط به سرعت مکانی و زمانی وسایل نقلیه در آزادراه تهران-کرج جمع‌آوری شده است. این داده‌ها شامل اطلاعات ثبت شده از دوربین‌های ترددشمار و سیستم‌های نظارت ترافیکی پلیس راهور (برای ثبت سرعت لحظه‌ای و اطلاعات تصادفات) و داده‌های سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای (برای حجم تردد، چگالی ترافیک، و ظرفیت راه) می‌باشد.

داده‌ها مربوط به سال ۲۰۲۱ بوده و در بازه‌های زمانی ساعتی، روزانه و هفتگی ثبت شده‌اند. این اطلاعات شامل ترافیک در



شکل ۱، فلوچارت روش‌شناسی تحقیق

سپس نقطه‌ای از راه که امکان آماربرداری از آن وجود داشته باشد آماربرداری انجام دهیم و نتایج آن استخراج کنیم. داده‌های مورد نظر و لازم برای به دست آوردن سرعت زمانی و مکانی که در این پژوهش مورد نظر ما بوده است نیازمند داشتن حجم و چگالی می‌باشد که با استفاده از نمودارهای موجود گرین‌شیلدز و گرین‌برگ محاسبه و استفاده خواهد شد.

بر اساس داده‌های ترافیکی به برآورد نرخ جریان و حجم و سطح سرویس راه و سرعت در بازه‌های مختلف پرداخته خواهد شد و در مرحله بعد با بررسی نتایج مرحله قبلی می‌توان به ظرفیت و سطح سرویس این راه در پیک ترافیکی رسید. اطلاعات مربوط به روش‌های مختلف کشورهای دیگر، از تحقیق‌های صورت گرفته بر اساس مطالعات موجود در مقالات مختلف استخراج شده است.

**سرعت زمانی:** فاصله زمانی بین عبور دو وسیله نقلیه متوالی از یک نقطه از مسیر است. برای بدست آوردن آن عدد ۳۶۰۰ را تقسیم بر نرخ جریان هر خط ترافیکی می‌شود.

**سرعت مکانی:** فاصله سپر جلوی دو وسیله نقلیه متوالی هنگام عبور از یک نقطه از مسیر است. برای بدست آوردن آن عدد ۵۲۸۰ تقسیم بر چگالی هر خط ترافیکی می‌شود.

روابط سرعت متوسط زمانی و سرعت متوسط مکانی به ترتیب با استفاده از روابط (۲) و (۳) زیر بدست می‌آیند (HCM, ۲۰۲۲):

$$TMS = \frac{\sum_i \left(\frac{d}{t_i}\right)}{n} \quad (2)$$

$$SMS = \frac{d}{\sum_i (t_i/n)} \quad (3)$$

که در آن TMS و SMS به ترتیب سرعت متوسط زمانی و سرعت متوسط مکانی میباشد. پارامتر  $d$  طول مسیر،  $n$  تعداد وسیله نقلیه،  $t_i$  زمان سفر هر یک از وسایل نقلیه می‌باشد. همچنین رابطه بین سرعت متوسط مکانی و سرعت لحظه‌ای از رابطه (۴) حاصل می‌شود (HCM, ۲۰۲۲).

$$\bar{V}_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{V_i}\right)} \quad (4)$$

رابطه‌ی ارائه شده (۴) بیانگر سرعت متوسط مکانی بر اساس سرعت‌های لحظه‌ای در بخش‌های مختلف مسیر است.  $\bar{V}_s$  نشان‌دهنده‌ی سرعت متوسط مکانی است.  $V_i$  سرعت لحظه‌ای در هر بخش از مسیر (بر حسب کیلومتر بر ساعت) است.

سرعت جریان آزاد: سرعت متوسطی است که وسایل نقلیه می‌توانند در یک جاده خاص بدون هیچ‌گونه محدودیت ناشی از ترافیک، کنترل‌های جاده‌ای، یا سایر عوامل بازدارنده، طی کنند. این سرعت معمولاً در شرایطی اندازه‌گیری می‌شود که حجم ترافیک کم باشد و وسایل نقلیه بتوانند با حداکثر سرعت ایمن خود حرکت کنند.

سرعت جریان آزاد پایه: سرعتی است که بر اساس ویژگی‌های فیزیکی جاده، از جمله نوع مسیر، تعداد خطوط، شرایط جوی و سایر عوامل ثابت، تعیین می‌شود. این سرعت معمولاً بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی و ترافیکی خاص محاسبه می‌شود و به عنوان یک معیار پایه برای تحلیل عملکرد راه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

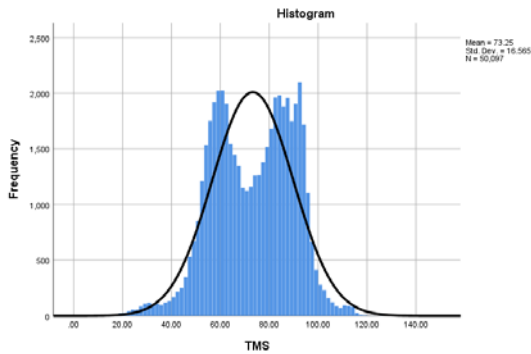
فاکتور تعدیل عرض خط: این فاکتور تأثیر عرض هر خط عبور در جاده را بر سرعت جریان آزاد مشخص می‌کند. به طور کلی، افزایش عرض خطوط عبوری باعث افزایش سرعت جریان آزاد می‌شود، زیرا فضای بیشتری برای حرکت خودروها فراهم شده و احتمال تداخل بین وسایل نقلیه کاهش می‌یابد. در مقابل، کاهش عرض خط می‌تواند منجر به کاهش سرعت شود.

فاکتور تعدیل فاصله جانبی عاری از مانع در شانه سمت راست: این فاکتور نشان‌دهنده تأثیر موانع جانبی مانند ساختمان‌ها، درختان، گاردریل‌ها یا موانع دیگر در حاشیه سمت راست جاده بر سرعت جریان آزاد است. هرچه این فاصله بیشتر باشد، احتمال اختلال در حرکت خودروها کاهش می‌یابد و سرعت جریان آزاد افزایش پیدا می‌کند.

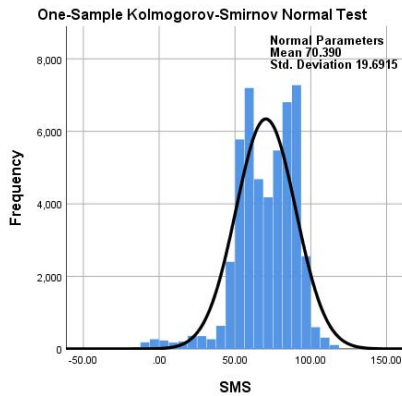
فاکتور تعدیل نوع میانه مسیر: این فاکتور تأثیر نوع و طراحی میانه مسیر را بر سرعت جریان آزاد بررسی می‌کند. وجود یک جزیره یا مانع جداکننده مناسب بین مسیرهای رفت و برگشت می‌تواند امنیت و اعتماد رانندگان را افزایش داده و در نتیجه منجر به افزایش سرعت جریان آزاد شود. در مقابل، نبود میانه مناسب یا وجود موانع ناکارآمد می‌تواند موجب کاهش سرعت جریان آزاد شود.

فاکتور تعدیل دسترسی: این فاکتور میزان تأثیر تعداد و نحوه توزیع ورودی‌ها و خروجی‌های جاده بر سرعت جریان آزاد را نشان می‌دهد. هرچه تعداد نقاط دسترسی (مانند ورودی و خروجی رمپ‌ها، تقاطع‌ها و دسترسی‌های فرعی) بیشتر باشد، احتمال کاهش سرعت خودروها و افزایش اختلال در جریان ترافیک بیشتر خواهد شد. در مقابل، جاده‌هایی با دسترسی‌های کنترل‌شده، معمولاً سرعت جریان آزاد بالاتری دارند.

نسبتاً کوچک است، در حالی که یک مقدار بزرگتر از ۱ نشانگر وضعیت بالعکس است. در هر حال برای توزیع نرمال به نمودارهای هیستوگرام باید رجوع شود.



شکل ۲. هیستوگرام سرعت زمانی داده‌های نمونه برداری شده در آزادراه تهران کرج



شکل ۳. هیستوگرام سرعت مکانی داده‌های نمونه برداری شده در آزادراه تهران کرج

با توجه به هیستوگرام شکل (۲) نشان می‌دهد مقدار میانگین سرعت زمانی برابر ۷۳٫۲۵ و انحراف معیار ۱۶٫۵۶۵ برای تعداد نمونه ۵۰۰۹۷ تردد می‌باشد. اگر میانگین مقدار فاصله زمانی برای یک نمونه از ۵۰۰۹۷ ترافیک برابر با ۷۳٫۲۵ و انحراف معیار ۱۶٫۵۶۵ باشد، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها در نمونه گسترده‌تر هستند و با مقدار نسبتاً متوسطی از تنوع نسبت به میانگین پراکنده شده‌اند. با توجه به هیستوگرام شکل (۳)، میانگین پارامتر سرعت متوسط مکانی برابر با ۷۰٫۳۹۰ و انحراف معیار آن ۱۹٫۶۹۱ برای تعداد زیادی از نمونه‌ها محاسبه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که داده‌های مربوط به پارامتر سرعت متوسط مکانی در این نمونه دارای پراکنندگی مشخصی هستند. میانگین ۷۰٫۳۹۰ نشان‌دهنده‌ی

$n$  تعداد مشاهدات یا بخش‌های مسیر را نشان می‌دهد. رابطه (۴) را می‌توان نوعی معادله برای میانگین هندسی سرعت‌های لحظه‌ای در نظر گرفت، به این معنا که سرعت متوسط مکانی به جای میانگین حسابی، با استفاده از فرمول میانگین هندسی محاسبه می‌شود. این روش باعث می‌شود که تأثیر سرعت‌های کوچک‌تر در مسیر بیشتر نمایان شود، زیرا در میانگین هندسی، مقادیر کوچک‌تر تأثیر بیشتری بر نتیجه‌ی نهایی دارند.

## ۴- نتایج

میانگین در گروه شاخص‌های مرکزی یا تمایل به مرکز قرار می‌گیرد. از طرفی واریانس، انحراف معیار در آمار توصیفی نامیده می‌شود. همچنین کشیدگی نیز شاخص‌های تقارن افقی توزیع فراوانی داده‌ها را تعیین می‌کند. از طرفی، ضریب‌های همبستگی، شاخص‌هایی برای نشان داده میزان ارتباط بین دو متغیر بوده و می‌توانند وضعیت دو متغیر را نسبت به یکدیگر، نشان دهند.

جدول ۱. نتایج تحلیل آمار توصیفی

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	واریانس	کشیدگی	خطای استاندارد
ظرفیت حجمی	۱۳۲۶٫۶۱	۹۷۰٫۲۸۵۲	۹۵۱۱۸۱٫۳	۱٫۸۳۳	۰٫۲۲
سرعت زمانی	۷۳٫۲۵۰۶	۱۶٫۵۶۵۱۳	۲۷۴٫۴۰۴	-۰٫۴۵۵	۰٫۲۲
نرخ تغییر سرعت	۱۱٫۵۴۶۸	۶٫۴۶۲۷۱	۴۱٫۶۶۷	۲۵٫۷۵۶	۰٫۲۲
سرعت مکانی	۷۰٫۳۸۹۸	۱۹٫۶۹۱۴۷	۳۸۷٫۷۵۴	۱٫۹۰۸	۰٫۲۲
چگالی	۲۴٫۳۴۰۵	۶۵۹٫۱۷۹۶	۴۳۵۱۷٫۸	۸۲۵۷٫۰۳	۰٫۲۲

مقدار انحراف استاندارد اگر ارزش معیار انحراف از میانگین بزرگ باشد، این به معنای این است که داده‌ها در نمونه گسترده‌تراند، به این معنا که مشاهداتی که دارای فاصله ای بیشتر از میانگین هستند دورتر هستند. در مقابل، یک مقدار کوچک برای معیار انحراف از میانگین به معنای تمرکز بیشتر داده‌ها در نزدیکی میانگین است. باید به این نکته توجه داشت که اگر نسبت میانگین به معیار انحراف بیشتر از ۰٫۵ باشد، نمی‌توان نتیجه گرفت که توزیع نمونه شبیه به یک توزیع نرمال است. نسبت میانگین به انحراف معیار (یعنی ضریب واریانس) برای اندازه‌گیری تغییرپذیری نسبی داده‌ها استفاده می‌شود. مقدار کمتر از ۱ برای ضریب واریانس نشان می‌دهد که انحراف معیار به نسبت میانگین

جدول ۲. نتایج آزمون همبستگی پیرسون سرعت زمانی و مکانی  
آزادراه تهران-کرج

		Correlations	
		سرعت مکانی	سرعت زمانی
سرعت زمانی	ضریب پیرسون	۰.۹۴۷**	۱
	سطح معناداری	۰.۰۰۰	
	N	۵۰۰۹۷	۵۰۰۹۷
سرعت مکانی	ضریب پیرسون	۰.۹۴۷**	۱
	سطح معناداری	۰.۰۰۰	
	N	۵۰۰۹۷	۵۰۰۹۹

همبستگی در سطح ۰.۰۱ معنی دار است (۲ دنباله). \*\*

آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین سرعت زمانی و مکانی در آزادراه تهران کرج همبستگی وجود دارد و سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می باشد (sig=0) و همچنین شدت رابطه میان دو متغیر که از طریق ضریب همبستگی پیرسون که مقداری برابر ۰/۹۴۷ حاصل شده است و این مقدار بین ۰/۸ تا ۱ بیانگر شدت رابطه بسیار قوی می باشد در نتیجه نتیجه گیری می شود متغیرهای سرعت زمانی و مکانی رابطه بسیار قوی و هم جهت با یکدیگر دارند. به عبارتی هر چه قدر سرعت زمانی افزایش یابد به همان مقدار سرعت مکانی نیز افزایش می یابد.

شاخص های پراکندگی، میزان پراکندگی (تغییرات) مقادیر هر متغیر را در اطراف میانگین نشان می دهند. زمانی که داده ها در شاخص های گرایش به مرکز، یک اندازه واحد خلاصه شوند، طبیعتاً بخشی از جزئیات و اطلاعات حذف خواهد شد. از این رو باید به دنبال شاخص هایی برای اندازه گیری تفاوت موردها در یک متغیر بود تا از نحوه و میزان پراکندگی و تغییر داده ها در اطراف میانگین (یا میانه و مد) اطلاعاتی بدست آید.

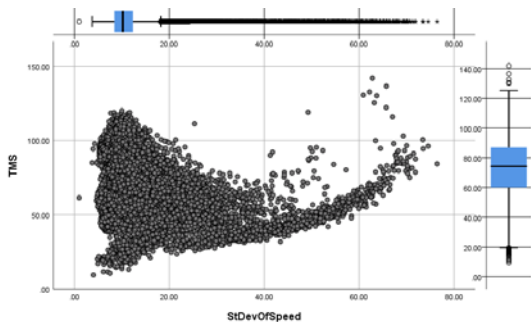
جدول ۳. نتایج تحلیل توصیفی سرعت ها زمانی و مکانی  
آزادراه تهران-کرج

خطای استاندارد	اماره	میانگین	سرعت مکانی
۰.۰۸۷۹	۷۰.۳۹۲۶	میانگین	سرعت مکانی
	۷۰.۲۲۰۲	کران پایین	
	۷۰.۵۶۵۰	کران بالا	
	۷۱.۵۹۲۶	میانگین درصد بریده شده ۵	
	۷۲.۰۴۰۰	میانه	
	۳۸۷.۵۷۲	ولاریانس	
	۱۹.۶۸۶۸۴	انحراف استاندارد	
	-۲۷.۱۷	کمترین	
	۱۱۹.۱۷	بیشترین	
	۱۴۶.۳۴	دامنه	
	۲۸.۲۳	محدوده بین چارکی	
۰.۱۱	-۰.۹۴۹	چولگی	
۰.۲۲	۱.۰۰۷	کشیدگی	
۰.۰۷۴۰	۷۳.۳۵۰۶	میانگین	سرعت زمانی
	۷۳.۱۰۵۵	کران پایین	
	۷۳.۳۹۵۶	کران بالا	

مقدار مرکزی داده ها است، در حالی که انحراف معیار ۱۹,۶۹۱ میزان پراکندگی داده ها نسبت به این میانگین را نشان می دهد. این توزیع نرمال بیانگر آن است که داده ها به طور گسترده در اطراف میانگین توزیع شده اند و میزان تنوع نسبت به میانگین در محدوده متوسط قرار دارد.

اندازه گیری بزرگ نمونه نشان می دهد که این نمونه بسیار معنادار است و به همین منظور، میزان مرکزیت و تنوع این نمونه برای تعیین ویژگی های جمعیت، به عنوان یک شاخص شواهد خوب، قابل استفاده هستند. مقدار نسبت واریانس برای این نمونه می تواند با برآورد آن ۰,۲۳ محاسبه شود و این مقدار کمتر از ۰,۵ است که نشان دهنده این است که معیار انحراف نسبت به میانگین نسبتاً کوچکتر است. میزان کشیدگی، معیاری برای سنجش میزان جابجایی جرم احتمال از شانه ها به سوی مرکز یا دم های منحنی توزیع داده ها است. مقدار منفی کشیدگی سرعت زمانی نشان دهنده توزیع داده ها با شکلی پلاتی کورتیک است که بدان معناست که توزیع داده ها مقداری گسترده تر از یک توزیع نرمال دارد. یک توزیع پلاتی کورتیک دارای دم کوتاه تر و نوک پهن تری نسبت به توزیع نرمال است. به عبارت دیگر، توزیع داده ها دارای کمترین تراکم مقادیر نزدیک به مقدار میانگین و بیشترین تنوع مقادیر آشکار شده است. در عبارات آماری، ضریب کشیدگی منفی به معنای وجود کمترین تعداد مقادیر بسیار بزرگ (مقدارهای پرت) نسبت به یک توزیع نرمال است و مقادیر به شکلی نزدیک تر به میانگین توزیع خود قرار دارند.

کشیدگی بزرگ در جدول (۱) نشان می دهد که توزیع داده ها دارای دم سنگینی است و نسبت به یک توزیع نرمال یا یک نوسان خیلی بالا با چشمه شدید، یا یک نوسان خیلی پایین با چشمه ای صاف دارد. این به این معنی است که مقادیر در توزیع به میانگین نزدیک تر هستند و مقادیر پرت بیشتر از چیزی در یک توزیع نرمال هستند. مقدار کشیدگی بالا می تواند نشانگر وجود بیشترین تعداد مقادیر پرت باشد، یا نشان دهد که داده بطور نرمال توزیع شده است. بنابراین، داده هایی با مقدار کشیدگی بالا ممکن است نیاز به رویکردهای آماری خاص داشته باشند که از این انحراف از توزیع نرمال توجه می کنند، به خصوص در استفاده از آماره های استنباطی که بر اساس توزیع نرمال فرضی است.



شکل ۶. نتایج پراکندگی برداشت‌های صورت گرفته از سرعت زمانی بر اساس تغییرات سرعت استاندارد

شکل ۶، نتایج پراکندگی برداشت‌های صورت گرفته از سرعت زمانی بر اساس تغییرات سرعت استاندارد نشان می‌دهد پراکندگی در سرعت‌های بالا به صورت پراکنده دیده می‌شود و اثرات رمپ محور مطالعه اثرات تغییرات سرعت در کمینه ۱۰ کیلومتر بر ساعت با سرعت زمانی با میانه ۷۰/۳۹ نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن

متغیر	سرعت مکانی	نرخ تغییر سرعت	سرعت زمانی	حجم ساعتی
سرعت مکانی	۱.۰			
نرخ تغییر سرعت	۰.۲۶۱***	۱.۰		
سرعت زمانی	۰.۹۹۱***	۰.۲۶۰***	۱.۰	
حجم ساعتی	۰.۲۱۳***	۰.۳۲۵***	۰.۱۱۱***	۱.۰
ضریب همبستگی	۰.۲۱۳***	۰.۳۲۵***	۰.۱۱۱***	۰.۲۱۳***
ی	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
سطح معناداری	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰

خطای استاندارد	آماره	میانگین درصد بریده شده ۵
	۷۳.۵۶۰۰	۷۳.۵۶۰۰
	۲۷۴.۴۰۴	۲۷۴.۴۰۴
	۱۶.۵۶۵۱۳	۱۶.۵۶۵۱۳
	۹.۵۲	۹.۵۲
	۱۴۱.۸۸	۱۴۱.۸۸
	۱۳۲.۳۶	۱۳۲.۳۶
	۲۷.۰۰	۲۷.۰۰
	-۰.۲۳۶	-۰.۲۳۶
	-۰.۴۵۵	-۰.۴۵۵

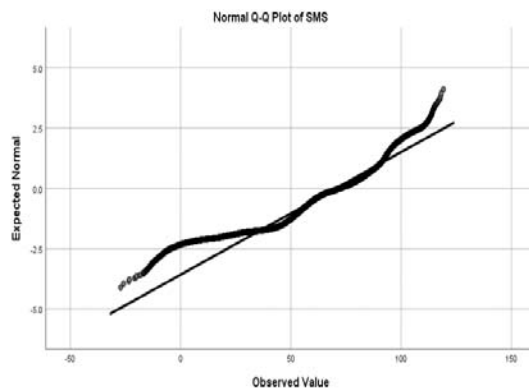
جدول ۴. آزمون اسپیرنوف کولموگروف سرعت‌های

زمانی و مکانی

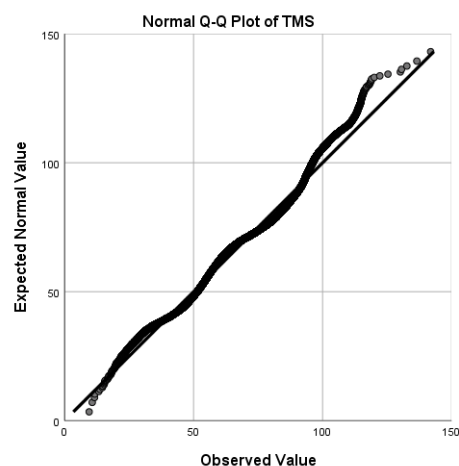
کولموگروف اسپیرنوف

	آماره	درجات آزادی	سطح معناداری
سرعت مکانی	۰.۶۵	۵۰۰۹۷	۰.۰۰۰
سرعت زمانی	۰.۶۸	۵۰۰۹۷	۰.۰۰۰

نتایج آزمون اسپیرنوف کولموگروف نشان می‌دهد توزیع داده‌ها نرمال می‌باشد که در توزیع نرمال اشکال زیر تأیید کننده توزیع نرمال سرعت‌های مکانی و زمانی می‌باشد.



شکل ۴. نتایج توزیع نرمال آماری سرعت مکانی



شکل ۵. نتایج توزیع نرمال آماری سرعت زمانی

متوسط شامل نه تنها فواصل بین خودروها، بلکه اندازه خودروها نیز می‌شود. به عبارتی دیگر رابطه بسیار قوی مثبت یعنی با افزایش سرعت زمانی سرعت مکانی نیز افزایش می‌یابد. سطح خطای صفر معناداری آزمون را نشان می‌دهد.

کاربردهای عملی تحقیق:

این پژوهش از نظر کاربردی دارای چندین نتیجه مهم است که می‌تواند در مدیریت ترافیک و افزایش ایمنی جاده‌ها مورد استفاده قرار گیرد:

بهبود مدل‌های ترافیکی: نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بین سرعت مکانی و سرعت زمانی در آزادراه تهران-کرج رابطه‌ای قوی وجود دارد. این روابط می‌تواند در بهبود مدل‌های پیش‌بینی ترافیک و مدیریت تقاضای سفر مؤثر باشند.

بهینه‌سازی کنترل ترافیک: اطلاعات به‌دست‌آمده می‌تواند در طراحی سیستم‌های کنترل هوشمند ترافیک، بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی و هدایت خودروها بر اساس شرایط ترافیکی مورد استفاده قرار گیرد.

ارتقاء استانداردهای ترافیکی: این تحقیق امکان مقایسه داده‌های بومی با استانداردهای بین‌المللی (مانند HCM) را فراهم کرده و می‌تواند مبنایی برای اصلاح و تدوین استانداردهای ملی در زمینه کنترل سرعت و ظرفیت راه‌ها باشد.

مدیریت بهینه ظرفیت آزادراه‌ها: داده‌های به‌دست‌آمده می‌تواند در تعیین آستانه‌های بهره‌برداری از آزادراه‌ها، برنامه‌ریزی برای گسترش ظرفیت جاده‌ها و تخصیص بهتر منابع به توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل مؤثر باشد.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش می‌تواند راهگشای سیاست‌گذاران، مهندسان ترافیک و مدیران شهری برای مدیریت بهینه ترافیک و بهبود ایمنی و کارایی حمل‌ونقل جاده‌ای باشد.

نتایج این پژوهش که به بررسی رابطه میان سرعت مکانی و زمانی در آزادراه تهران-کرج پرداخته است، می‌تواند در سایر محورهای برون‌شهری به‌صورت زیر مورد استفاده قرار گیرد:

کالیبراسیون مدل‌های ترافیکی بر اساس شرایط محلی روابط استخراج شده بین سرعت‌های مکانی و زمانی می‌تواند به عنوان مرجع برای کالیبراسیون مدل‌های ترافیکی در سایر آزادراه‌ها و بزرگراه‌های کشور مورد استفاده قرار گیرد. با جمع‌آوری داده‌های مشابه از محورهای دیگر و تطبیق آن‌ها با نتایج این پژوهش، امکان طراحی مدل‌های دقیق‌تر برای پیش‌بینی جریان ترافیک در سایر مسیرها فراهم می‌شود.

#### بهینه‌سازی مدیریت ترافیک در آزادراه‌های پر تردد

نتایج این تحقیق نشان داده است که افزایش سرعت زمانی به افزایش سرعت مکانی منجر می‌شود. این موضوع می‌تواند در مدیریت جریان ترافیکی سایر محورهای برون‌شهری مورد توجه قرار گیرد تا از تراکم‌های ناگهانی جلوگیری شود. برای مثال،

در ادامه از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد، این آزمون معادل آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن در آمار ناپارامتریک هست. نتایج آزمون بیانگر این است که سطح معناداری مربوط به ضریب همبستگی اسپیرمن، برای تعدادی از متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشد.

( $\text{sig} \leq 0/05$ )، در نتیجه می‌توان گفت بین این متغیرها رابطه معناداری وجود دارد. با توجه به میزان ضریب همبستگی مشاهده شده در جدول ۵، نتیجه می‌شود که همبستگی بین این متغیرهای باکس زرد مثبت و باکس آبی منفی است. اعتبارسنجی نتایج این پژوهش از طریق تحلیل آماری و آزمون‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن انجام شده است. آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین سرعت زمانی و مکانی در آزادراه تهران-کرج همبستگی بسیار قوی (ضریب ۰٫۹۴۷) وجود دارد و سطح معناداری آزمون برابر با صفر است ( $\text{sig} = 0$ )، که این امر اعتبار آماری بالای نتایج را تأیید می‌کند. علاوه بر این، توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف بررسی شده و نشان داده شده است که داده‌ها از یک توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

همچنین، برای بررسی دقت مدل، داده‌های استخراج‌شده از سامانه‌های پلیس راهور و دوربین‌های ترددشمار با مدل‌های موجود در مطالعات مشابه و استانداردهای HCM مقایسه شده است تا میزان تطابق نتایج بررسی شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

بنابر ضرایب پیرسون بدست آمده رابطه قوی میان متغیرهای سرعت مکانی و زمانی وجود دارد و ضریب همبستگی ۰٫۹۴۷ بیانگر رابطه قوی میان دو متغیر است. همچنین از رابطه بسیار قوی میان متغیرها می‌توان به میانگین سرعت زمانی و میانگین سرعت مکانی با ضریب همبستگی پیرسون ۱ و میانگین سرعت مکانی و میانگین فاصله متوسط ۰٫۹۷۹ بیانگر رابطه قوی میان دو متغیر نیز می‌باشد. فاصله میانگین و فاصله متوسط اصطلاحاتی هستند که به فاصله بین خودروهایی که در جاده حرکت می‌کنند، اشاره می‌کنند. اما این دو عبارت با یکدیگر تفاوت دارند. فاصله میانگین، فاصله بین لبه دنبال کننده یک خودرو و لبه جلوی خودروی بعدی است. این عبارت وقتی استفاده می‌شود که به فواصل بین خودروها در یک جریان ترافیک اشاره می‌شود. به عبارت دیگر، این فاصله، فاصله بین دو خودروی متوالی است. از طرف دیگر، فاصله متوسط، فاصله بین مرکز یک خودرو تا مرکز خودروی بعدی است. این عبارت وقتی استفاده می‌شود که به تمامی فواصل بین خودروها اشاره می‌شود و شامل هم فواصل و هم اندازه خودروها می‌شود.

به‌طور خلاصه، در حیطه حمل و نقل، هر دو عبارت به فاصله بین خودروها اشاره دارند، اما فاصله میانگین تنها به فضای بین دو ماشین مربوط می‌شود، در حالی که فاصله

-Martínez-Díaz, Margarita, and Ignacio Pérez (2015). A simple algorithm for the estimation of road traffic space mean speeds from data available to most management centres. *Transportation Research Part B: Methodological* 75: 19-35.

-National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Washington, DC. *The National Academies Press*, 2022.

-Pritam Saha (2019). Preferred time headway of drivers on two-lane highways with heterogeneous traffic, *Transportation Letters*, Vol. 11, Issue 4, 200-207.

-O. C. Puan (2019). Drivers behaviour on expressways: headway and speed relationships. *National Cooperative Highway Research Program*, Washington, DC, USA.

-Seif, M., Molayem, M., & Abbasi, M. (2016). Calibration of the relationship between spatial and temporal average speeds based on Iranian drivers' behavior: A case study of Tehran-Qom Highway. *Proceedings of the 16th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, Tehran*. (In Persian)

-Soriguera, F., and F. Robusté (2011). Estimation of traffic stream space mean speed from time aggregations of double loop detector data. *Transportation research part C: emerging technologies* 19, No. 1: 115-129.

-Seetharaman, Padma, Madhu Errampalli, Velmurugan Senathipati, Anuradha Shukla, and Subhamay Gangopadhyay (2011). Modeling time mean speed and space mean speed for heterogeneous traffic conditions. *Transportation Planning and Technology* 34, No. 8, 823-838.

-Tavakoli, S., Sadat Hosseini, S. M., & Monajem, S. (2023). Feasibility study of implementing spatio-temporal management methods: Lane relocation between opposing directions (case study of Shahid Hemmat Highway). *Scientific-Research Journal of Transportation Research*, Vol. 20, No. 2, 237-250. (In Persian)

-Yang Teng. (2020). Modelling the Relationships between Headway and Speed in Saturation Flow of Signalised Intersections, *Smart Transportation System*, 179-188.

-Zhang, B., S. Cheng, P. Wang, and F. Lu. (2024). Inferring freeway traffic volume with spatial interaction enhanced between centrality. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 129: 103818.

می‌توان با اعمال سیستم‌های هوشمند کنترل سرعت متغیر در محورهای شلوغ، جریان ترافیک را روان‌تر کرد.

#### ارتقای ایمنی جاده‌ها و کاهش تصادفات

رابطه قوی بین سرعت‌های مکانی و زمانی می‌تواند در تحلیل نقاط حادثه‌خیز در محورهای برون‌شهری دیگر نیز به کار رود. در صورت اجرای این مدل در سایر مسیرها، می‌توان مناطقی که بیشترین تغییرات سرعت دارند را شناسایی کرده و با استفاده از علائم هشداردهنده، دوربین‌های کنترل سرعت، و اصلاح طراحی هندسی جاده‌ها، ایمنی جاده‌ای را افزایش داد.

#### پیش‌بینی ظرفیت و برنامه‌ریزی توسعه راه‌ها

داده‌های این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران در برنامه‌ریزی توسعه محورهای برون‌شهری کمک کند. به‌عنوان مثال، در محورهای پرتدد مانند آزادراه قم-کاشان یا مسیرهای شمالی کشور، می‌توان با استفاده از روابط سرعتی مشابه، میزان ظرفیت بهینه راه‌ها را بررسی و نسبت به افزایش ظرفیت یا بهبود طراحی آن‌ها اقدام کرد.

توسعه سامانه‌های مدیریت ترافیک هوشمند

با استفاده از نتایج این تحقیق، می‌توان سامانه‌های کنترل و مدیریت هوشمند ترافیک را برای سایر محورهای برون‌شهری توسعه داد. برای مثال، استفاده از تابلوهای پیام متغیر برای اطلاع‌رسانی به رانندگان در مورد شرایط ترافیکی و کاهش سرعت در زمان‌های پرتراffic می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود جریان ترافیکی داشته باشد.

#### ۶-مراجع

-Chung, Y., and W. W. Recker (2012). A methodological approach for estimating temporal and spatial extent of delays caused by freeway accidents. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 13, No. 3 1454-1461.

-Farazmand, A., & Farazmand, K. (2017). Characteristics of traffic flow and its understanding nature. *Proceedings of the International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urbanism of Contemporary Iran, Tehran*. (In Persian).

-Huang, Y., K. Shi, H. Zong, T. Zhou, and J. Shen (2019). Exploring spatial and temporal connection patterns among the districts in Chongqing based on highway passenger flow. *Remote Sensing* 12, No. 1, 27.

-Lin, P., Y. He, M. Pei, and R. Yang (2022). Data-driven spatial-temporal analysis of highway traffic volume considering weather and festival impacts. *Travel Behaviour and Society* 29, 95-112.

# Development of Spatial and Temporal Speed Relationships in the Capacity of Tehran and Karaj Freeways

*Amirhossein Jashnian, Ph.D., Candidate, Faculty of Civil Engineering, Architecture, and Art, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.*

*Mahdi Tamaddon Gohar, Ph.D., Candidate, Faculty of Civil Engineering, Architecture, and Art, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.*

*E-mail: Ajashnian@gmail.com*

Received: May 2025- Accepted: August 2025

## **ABSTRACT**

To ensure safety and optimize traffic management, adherence to spatial and temporal speeds based on native data and highway capacity is essential, particularly when facing sudden deceleration of the leading vehicle. In this study, data recorded by traffic surveillance cameras and the Police Traffic Organization's database from 2021 were collected and analyzed using SPSS software. The research methodology included Pearson correlation analysis and modeling of spatial and temporal speed relationships based on empirical data. The novelty of this study lies in the development of calibrated models based on Iran's local traffic conditions and their comparison with international standards. The results indicated a strong positive relationship between spatial and temporal speeds, where an increase in temporal speed leads to an increase in spatial speed. Additionally, the significance level of the test was zero, confirming the statistical reliability of the findings. These results can be effectively utilized in traffic modeling, freeway capacity optimization, and improving road safety.

**Keywords:** Spatial Speed Relationships, Time, Freeway Capacity, Tehran and Karaj