

تحلیل و مدل‌سازی توزیع سرفاصله زمانی خودروها برای شرایط مختلف آب‌وهوایی در بزرگراه (مطالعه موردی: محور سنندج - همدان)

نگارالسادات مدنی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
بهروز شیرگیر*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shirgir@khu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰ - پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۰

صفحه ۵۹-۴۷

چکیده

سرفاصله زمانی، فاصله زمانی عبور دو وسیله نقلیه متوالی از یک شاخص معین در جاده است. این پارامتر یکی از خصوصیات مهم جریان ترافیک بوده که در مطالعات خرد شبیه‌سازی و مدل‌سازی ترافیک، از اهمیت و کاربرد فراوانی برخوردار است. مدیران ترافیک و مهندسان، به منظور برنامه‌ریزی صحیح در شرایط مختلف، باید شناخت دقیقی از رفتار رانندگان در انتخاب سرفاصله‌ها داشته باشند. چرا که نحوه توزیع سرفاصله‌ها بر پارامترهای مختلف جریان همچون ظرفیت، سطح سرویس و ایمنی، تأثیرگذار است. تحلیل دقیق توزیع سرفاصله‌های زمانی، همچنین این امکان را برای برنامه‌ریزان فراهم می‌آورد که با شبیه‌سازی و تولید مدل‌های خرد، میزان تأخیر را کاهش و ظرفیت تسهیلات را افزایش دهند. سرفاصله مناسب وسایل نقلیه در طول حرکت در جاده، سبب افزایش ایمنی و کاهش احتمال تصادفات شده. رضایت مندی بیشتر سفر را در پی خواهد داشت. در این پژوهش، مطالعه‌ای پیرامون تحلیل و مدل‌سازی سرفاصله زمانی خودروها در شرایط مختلف آب‌وهوایی در بزرگراه انجام شده است. داده‌های سرفاصله زمانی با هدف بررسی شرایط آب‌وهوایی به تفکیک خط، زوج خودرو، شب و روز و حجم عبوری از مسیر گروه‌بندی شده و مدل‌های به دست آمده از هر گروه تحلیل شدند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی میانگین سرفاصله‌های زمانی در حالت بارانی بیشتر بوده و همچنین در بیش‌تر گروه‌ها اختلاف میانگین سرفاصله‌ها در حالت‌هایی که خودروی سنگین تعقیب‌کننده است، از حالت‌های دیگر بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: سرفاصله زمانی، تسهیلات حمل و نقلی، جریان ترافیکی، سطح سرویس

۱- مقدمه

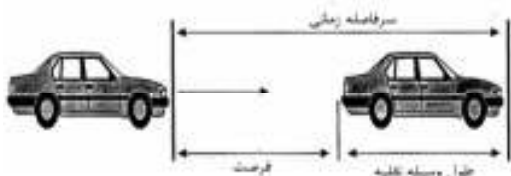
رفت و آمد و سفرهای شهری را (۴۰ تا ۴۵ درصد) به خود اختصاص داده‌اند. نگاهی هر چند اجمالی به درصدهای ذکر شده اهمیت توجه به برنامه‌ریزی دقیق در بزرگراه‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. رعایت اصول هندسی و طراحی مسیر در ابتدای امر و در نظر داشتن شیوه‌های صحیح در مدیریت و کنترل ترافیک عبوری در مرحله بعدی، دو رکن اساسی و لاینفک هدایت بهینه وسایل در مسیرهای بزرگراهی به‌شمار می‌آیند.

امروزه با افزایش جمعیت و تبع آن، افزایش فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مشکلات تردد به خصوص در مناطق مرکزی کلان‌شهرها، نمایان تر شده است. از این رو نیاز به ایجاد مسیرهای جدید برای تردد ترافیکی بیش‌تر احساس می‌شود. در این خصوص مسیرهای تردد بین شهری در مناطق پرجمعیت، همواره مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه بزرگراه‌های شهری در مقایسه با دیگر راه‌ها، طول نسبی بالایی ندارند (۵ تا ۱۰ درصد)، اما سهم به‌سزایی از

متفاوت با تقاطع، تونل و... می‌باشد، از این رو ارزیابی و مدل‌سازی توزیع سرفاصله در شرایط مختلف بزرگراه به صورت جداگانه، به منظور تحلیل و برنامه‌ریزی صحیح، ضروری به نظر می‌رسد.

۲- پیشینه تحقیق

سرفاصله زمانی که اغلب به صورت مختصر سرفاصله نامیده می‌شود. سرفاصله زمانی، فاصله زمانی بین دو وسیله نقلیه متوالی که از نقطه‌ای مشخص در طول خط عبوری می‌گذرند و از نقاط مشخص و متعارف مثلاً بین دو سپر جلو و یا عقب دو وسیله نقلیه متوالی اندازه‌گیری می‌شود، است. سرفاصله که بر حسب ثانیه اندازه‌گیری می‌شود، شامل دو بازه زمانی اشغال و فرصت است. بازه اول، زمان اشغال که برابر با مدت زمانی است که تمام طول یک خودرو از یک نقطه مفروض عبور می‌کند. بازه دوم فرصت که به عنوان فاصله زمانی بین عبور سپر عقبی خودروی جلویی تا گذر سپر جلوی خودروی عقبی از یک نقطه فرضی می‌باشد (Zou et.al., 2017). در ترافیک سبک که وسیله نقلیه عقبی از وسیله جلویی تاثیر نمی‌پذیرد، انتخاب سرفاصله‌ها به صورت یک فرآیند تصادفی صورت می‌گیرند، در حالی که در ترافیک سنگین، بازه اول سرفاصله به طول وسیله نقلیه و سرعت آن بستگی دارد و بازه دوم با توجه به حفظ یک فاصله ایمن از وسیله نقلیه جلویی توسط راننده انتخاب می‌شود (Yu, 2014). مفهوم سرفاصله زمانی به صورت شماتیک در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مفهوم سرفاصله زمانی به صورت شماتیک

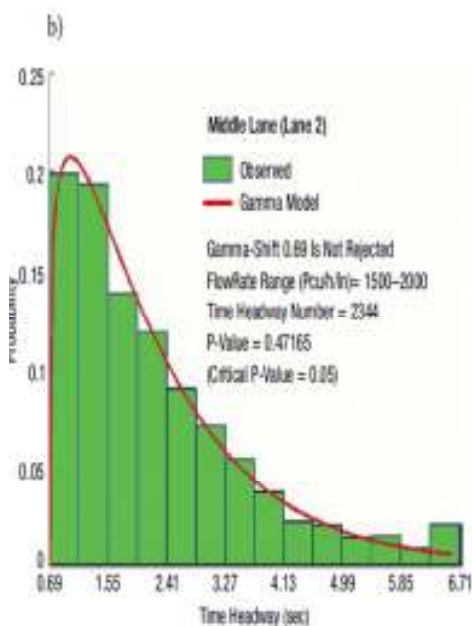
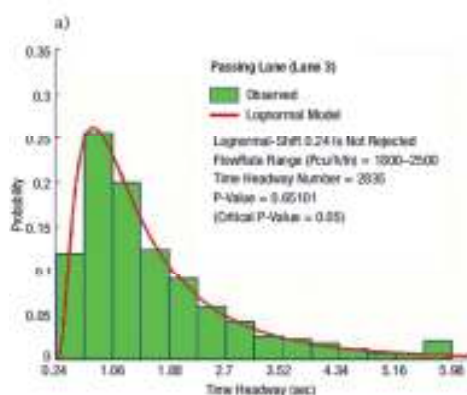
سرفاصله بین وسایل نقلیه می‌تواند به دو صورت اندازه‌گیری شود. در حالت اول یک شاخص مکانی در نظر گرفته و فاصله زمانی عبور دو وسیله نقلیه متوالی از این شاخص محاسبه می‌شود و به عنوان سرفاصله زمانی مطرح می‌شود. در حالت دوم در یک زمان، فاصله طولی بین دو

بزرگراه‌ها از آن رو اهمیت دارند که عموم رانندگان با توجه به ماهیت حرکتی سفرشان، از آن‌ها استفاده می‌کنند و تنها در نواحی مربوط به مقصدشان است که آن را ترک می‌کنند. به همین دلیل است که همواره مسیرهای بزرگراهی سهم ترافیک بیش‌تری را نسبت به دیگر مسیرها دارند (Kong et al., 2016). بر اساس تئوری‌های محیطی-رفتاری، رفتار فرد از محیط پیرامون خود تاثیر می‌گیرد. بر این اساس رفتارهای رانندگی متأثر از شرایط محیطی اطراف راننده بوده و انتظار می‌رود در محیط‌های مختلف جاده‌ای عکس‌العمل‌های متفاوتی از راننده مشاهده گردد. سرفاصله‌های زمانی و مکانی جز آن‌دسته از پارامترهای ترافیکی محسوب می‌شود که انتظار می‌رود که به دلیل تغییر در عملکرد رانندگان، مقدارهای متفاوتی در شرایط مختلف داشته باشند (Zhang and Wang, 2007).

سرفاصله در اکثر موارد بر مبنای واحد زمان (سرفاصله زمانی) اندازه‌گیری می‌شود و در موارد کمی از واحد طول (سرفاصله مکانی) استفاده می‌شود. دلیل اصلی کاربرد بیش‌تر سرفاصله زمانی، ارتباط مستقیم آن با نرخ جریان است. در حالی که سرفاصله مکانی با چگالی جریان ارتباط مستقیمی دارد و از آن جایی که در مهندسی ترافیک پارامتر حجم و یا نرخ جریان پرکاربردتر است، در نتیجه مطالعات بیش‌تری در خصوص سرفاصله زمانی شده است. از دلایل دیگر ارزیابی بیش‌تر سرفاصله زمانی می‌توان به تاثیرپذیری کم‌تر آن از تغییرات موضعی سرعت اشاره کرد، در صورتی که سرفاصله مکانی از این تغییرات به شدت تاثیر پذیرفته و در نتیجه سبب کاهش دقت مطالعات می‌شود.

در سال‌های اخیر، با توسعه سریع تکنولوژی ارتباطات، سیستم حمل و نقل هوشمند نقش اساسی را در بسیاری از جنبه‌های مهندسی ترافیک با هدف بهبود شرایط ترافیکی و افزایش ایمنی کاربران مختلف ایفا می‌کند. هم راستا با توسعه سیستم هوشمند، استفاده از مدل‌ها و داده‌های سرفاصله در تخمین رفتار ترافیکی رانندگان نقش ضروری دارد (Yu, 2014). تاکنون با توجه به اهمیت بالای شناخت توزیع سرفاصله‌ها، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی سرفاصله‌ها در تسهیلات حمل‌ونقلی نظیر تقاطعات و جاده‌های دوخطه انجام گرفته است. با توجه به تاثیر شرایط محیطی بر انتخاب سرفاصله‌ها، توزیع سرفاصله در بزرگراه

مشاهده می‌شود که برای گروه‌های مختلف مقادیر میانه کم‌تر از میانگین است. در نتیجه ۵۰ درصد رانندگان سرفاصله‌های کم‌تر از مقدار میانگین را انتخاب می‌کنند (Faheem and Hashim, 2014).
جانگنا و همکارانش در سال ۲۰۱۱ مدل‌های توزیع سرفاصله را برای یک شریانی در کره جنوبی ارائه دادند. آنان در تحقیق خود داده‌های سرفاصله بدست آمده را بر اساس نرخ جریان در پنج دسته قرار داد. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، با افزایش نرخ جریان، مقدار میانگین سرفاصله و انحراف معیار داده‌های سرفاصله کاهش پیدا می‌کند (Janga et al, 2011).



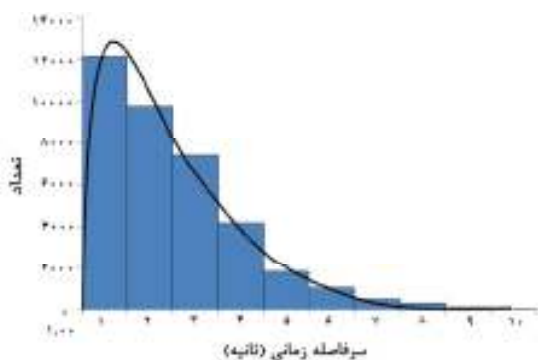
شکل ۲. مدل‌های انتخاب شده برای توزیع سرفاصله‌های مشاهده شده در خطوط سبقت و میانی

وسيله نقلیه متوالی اندازه‌گیری می‌شود، که سرفاصله مکانی نامیده می‌شود (شریعت، ۱۳۹۴).

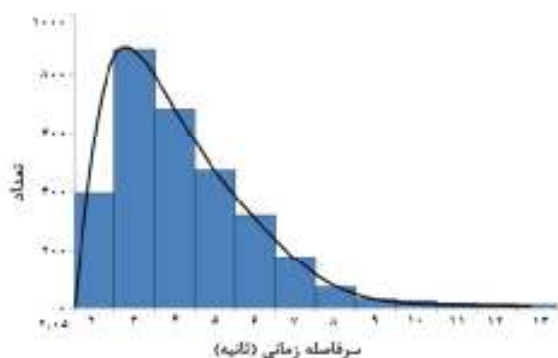
از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان به مطالعه دایسوک و همکاران در سال ۱۹۹۹ اشاره داشت. آن‌ها با بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار بر توزیع سرفاصله زمانی وسایل نقلیه در ژاپن به این نتیجه رسیدند که توزیع سرفاصله‌ها برای خطوط مختلف (حتی در شرایط حجم ترافیک یکسان) متفاوت می‌باشد. دلیل این امر تفاوت در میزان هوشیاری و باریک بینی رانندگان در خطوط مختلف اعلام شد (Daisuke, Izumi and Fumihiko, 1999).

ابطحی و تمنایی در سال ۲۰۱۱ تاثیر موقعیت خط حرکتی در توزیع سرفاصله زمانی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند نحوه رفتار رانندگان حتی در شرایط نرخ یکسان تردد، در خطوط مختلف متفاوت است. داده‌های مورد نیاز این تحقیق از بزرگراه خرازی اصفهان با استفاده از فیلم‌برداری تهیه شد. نتایج نشان داد سرفاصله‌های زمانی وسایل عبوری از خط تندرو و خط میانی یکسان نمی‌باشد. در نرخ تردد یکسان، میانه سرفاصله در خط تندرو کم‌تر از خط میانی می‌باشد. تفاوت در سرفاصله‌های دو خط می‌باشد. در ساعات اوج جریان ترافیک در خط تندرو، میانه سرفاصله زمانی ۱/۱۵ ثانیه و نرخ تردد ماکزیمم مشاهده شده (ظرفیت) حدود ۲۵۰۰ معادل سواری بر ساعت بر خط بدست آمد. در حالی برای خط میانی، میانه سرفاصله زمانی ۱/۶۳ ثانیه و تردد نزدیک به ظرفیت حدود ۲۱۰۰ معادل سواری بر ساعت بر خط بود. در این پژوهش بهترین مدل برازش شده برای خط سبقت و خط میانی به ترتیب توزیع لوگ نرمال با انتقال ۰/۲۴ ثانیه و گاما با انتقال ۰/۶۹ ثانیه می‌باشند. شکل ۲ توابع چگالی داده‌ها و مدل انتخاب شده برای هر خط را نشان می‌دهد.

فهم و هاشم در سال ۲۰۱۴ نیز تایید کردند که بین موقعیت خط حرکتی و سرفاصله وسایل نقلیه رابطه مشخصی وجود دارد. نتایج تحقیقات بر روی دو خط میانی و کنار جاده نشان داد، مقدار میانگین سرفاصله زمانی در خط کنار جاده بیش‌تر از خط میانی است. در این پژوهش، افزایش نرخ جریان باعث کاهش انحراف استاندارد و میانگین سرفاصله شده است. با مقایسه مقادیر میانه و میانگین هر گروه،



شکل ۵. توزیع سرفاصله زمانی برای زوج خودروی سنگین-سواری

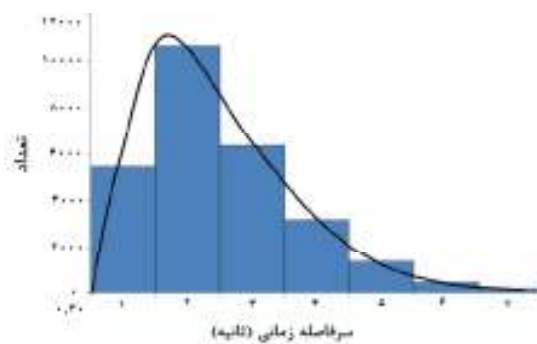


شکل ۶. توزیع سرفاصله زمانی برای زوج خودروی سنگین-سنگین

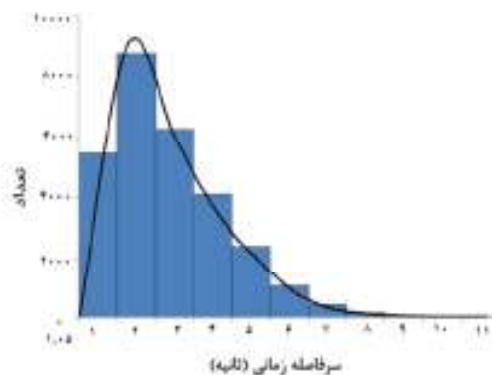
نتایج تحقیق تفاوت توزیع های سرفاصله های سنگین و سبک را نشان می دهند که این تفاوت به دلیل محدودیت های عملکردی خودروهای سنگین مانند افزایش و کاهش شتاب و همچنین تفاوت رفتار رانندگان خودروهای سواری و سنگین در شرایط ترافیک سنگین است (Moridpour and Aliakbari, 2016).

در مطالعه ای دیگر که توسط ونگ و همکارانش با استفاده از داده های جمع آوری شده از بزرگراه های مناطق کاری در سنگاپور انجام گرفت، مشخص شد که سرفاصله های زمانی بر طبق الگوی خودروی پیروی کننده - پیروی شونده با یکدیگر تفاوت معناداری دارند. سرفاصله های زمانی بر اساس ترکیبات مختلف نوع خودروی پیروی کننده - پیروی شونده به چهار گروه سواری-سواری، سواری-کامیون، کامیون-سواری و کامیون-کامیون تقسیم بندی شدند.

مریدپور و علی اکبری در سال ۲۰۱۶ توزیع سرفاصله زمانی را در شرایط ترافیک سنگین بررسی نمودند. در این تحقیق توزیع سرفاصله زمانی برای مسیر شهری در شرایط ترافیک سنگین مدنظر قرار گرفته است. برای تخمین بهتر مشخصات توزیع سرفاصله، خودروها به گروه های زوج خودروهای مختلف سواری-سواری، سواری-سنگین، سنگین-سواری و سنگین-سنگین تقسیم شده اند. مدل های مناسب با تست کامریع آزموده شده و مدل های مناسب برای هر گروه ارائه گردیده اند. داده های مورد استفاده از بزرگراهی در کالیفرنیا در بازه های زمانی که سطح سرویس E بوده و به عنوان شرایط ترافیک سنگین در نظر گرفته شده است، برداشت شده اند. با توجه به نتایج آزمون خوبی برآزش، به طور کلی توزیع لوگ نرمال بهترین توزیع برای داده های سرفاصله زمانی است. توزیع های برآزش شده در شکل های ۳ تا ۶ نشان داده شده اند.



شکل ۳. توزیع سرفاصله زمانی برای زوج خودروی سواری-سواری



شکل ۴. توزیع سرفاصله زمانی برای زوج خودروی سواری - سنگین

بسیار زیادی در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت راه‌ها دارد (شریعت، ۱۳۹۴).

۳-۲- پارامترهای خردنگر

جریان‌های ترافیکی از رفتار متقابل تک‌تک رانندگان و عملکرد وسایل نقلیه با یکدیگر و همچنین با عناصر فیزیکی جاده و محیط اطراف تشکیل می‌شوند. در توصیف جریان‌های ترافیکی به صورت کمی، هدف اصلی شناخت مشخصات و ویژگی‌های جریان ترافیک و افزایش بهبود در تسهیلات ترافیکی است. به این منظور مهندسان ترافیک برای ارزیابی و تحلیل وضعیت جریان ترافیک از مجموعه‌ای از پارامترهای کلیدی قابل اندازه‌گیری استفاده می‌کنند.

پارامترهای جریان ترافیک به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

- پارامترهای کلان‌نگر
- پارامترهای خردنگر

پارامترهای کلان‌نگر، کلیت جریان ترافیک را مورد ارزیابی قرار می‌دهند در حالی که پارامترهای خردنگر رفتار تک‌تک وسایل نقلیه یا جفت وسیله نقلیه را در جریان ترافیک بررسی می‌کنند. سه پارامتر اصلی کلان‌نگر برای توصیف جریان ترافیک شامل موارد زیر هستند:

- حجم یا نرخ جریان
- سرعت
- تراکم

پارامترهای خردنگر نیز شامل سرعت تک‌تک وسایل نقلیه، سرفاصله زمانی و سرفاصله مکانی می‌باشند.

اگرچه جریان، سرعت و تراکم ویژگی‌های کل جریان ترافیک را توصیف می‌کنند، اما می‌توان این پارامترها را با پارامترهای خردنگر که ویژگی‌های تک‌تک وسایل نقلیه را توصیف می‌کنند، مرتبط نمود. به طور مثال میانگین سرفاصله زمانی در یک خط عبوری با نرخ جریان در آن خط مرتبط است. رابطه (۱) نشان داده شده است که:

$$v = \frac{3600}{h_a} \quad (1)$$

v : نرخ جریان (veh/h/ln)

h_a : متوسط سرفاصله زمانی در هر خط عبوری (s)

همچنین طبق رابطه (۲)، میانگین مقادیر سرفاصله مکانی در یک خط عبوری با مقدار تراکم در آن خط در ارتباط است:

در این مطالعه خودرویی که طولی کم‌تر از ۵ متر داشت در گروه خودروی سواری و خودرویی با طول بیش‌تر از ۵ متر در گروه کامیون قرار داده شد. داده‌های مورد نیاز از دو بزرگراه چهار خطه منطقه کاری در سنگاپور جمع‌آوری شد. داده‌ها در دو نوبت پیک و غیرپیک با استفاده از فیلم‌برداری ویدئویی بدست آمدند. نکته قابل توجه حذف سرفاصله‌های کمتر از ۰/۱ ثانیه با بیشتر از ۱۰۰ ثانیه است. نتایج حاصل از آزمون واریانس یک طرفه غیر پارامتری و من-ویتنی تایید کردند که میانگین سرفاصله هر چهار دسته در سطوح مختلف جریان ترافیک با یکدیگر تفاوت شاخصی دارند. از دیگر نتایج مقایسه میانگین سرفاصله در این مرحله، بزرگ‌تر بودن سرفاصله زمانی در حالتی که کامیون پیروی کننده باشد، نسبت به حالتی که سواری پیروی کننده باشد. علت این تفاوت این گونه توجیه شد که رفتار راننده کامیون به علت توانایی ترمز پایین‌تر محتاط‌تر است و این امر سبب می‌شود فاصله بیش‌تری از خودروی جلویی حفظ نماید (Weng et al., 2014).

۳-۲- روش شناسی پژوهش

سرفاصله زمانی یکی از مشخصه‌های مهم میکروسکوپی جریان ترافیک است. این مشخصه اهمیت فراوانی در زمینه برنامه‌ریزی، آنالیز، طراحی و عملکرد سیستم حمل و نقلی دارد. بنابراین تا حد امکان باید آنالیز و بررسی سرفاصله به صورت دقیق و بر اساس رفتار واقعی رانندگان صورت گیرد. در این پژوهش، داده‌ها با استفاده از سیستم توزین در حال حرکت برداشت شده و پس از برازش توزیع‌های مختلف با استفاده از روش‌های آماری، بهترین توزیع برای هر گروه به دست آمده است. در این فصل به متدولوژی و روش‌های مورد استفاده برای مراحل مختلف پژوهش پرداخته شده است.

۳-۱- سیستم‌های توزین در حال حرکت

سیستم‌های توزین در حال حرکت، سیستم‌هایی با قابلیت توزین وسایل نقلیه بدون نیاز به توقف می‌باشند. این سیستم‌ها قابلیت توزین در سرعت‌های مختلف را دارند. اطلاعات به دست آمده از سیستم‌های توزین کاربردهای

۳-۲- آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

آزمون کولموگروف - اسمیرنوف که به افتخار دو آماردان روسی به نام‌های ا.ان. کلموگروف و ان.وی. اسمیرنوف به این نام خوانده می‌شود، روش ناپارامتری ساده‌ای برای تعیین همگونی اطلاعات تجربی با توزیع‌های آماری منتخب است. این آزمون از ساده‌ترین و مناسب‌ترین آزمون‌های ناپارامتری برای تجزیه و تحلیل داده‌های یک گروه است. به عبارت دیگر، کاربرد آن در مقایسه و آزمون میزان توافق بین توزیع تجمعی (توزیع تراکمی) اعداد مشاهده شده با یک توزیع نظری می‌باشد. این آزمون، یک آزمون نیکویی برازش (میزان انطباق) می‌باشد که امتحان می‌کند آیا مشاهدات می‌تواند بطور معقولانه از توزیع معینی تبعیت می‌کند (Antoneli et al., 2018). با توجه به نوع داده‌ها و اطلاعات موجود در این پژوهش، پس از پاک‌سازی و گروه‌بندی داده‌ها، توزیع‌های مختلف بر داده‌های هر گروه برازش شده و خوبی برازش با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف با p -value برابر با ۰/۰۵ سنجیده شده است.

۳-۳- بوت استرپینگ

در آمار بوت استرپینگ یک روش محاسباتی-آماري-کامپیوتری برای تعیین میزان دقت برآوردهای حاصل داده نمونه است (Efron and Tibshirani, 1994). در این تکنیک تنها با یک روش خیلی ساده می‌توان تقریباً هر آماره‌ای از توزیع داده‌های نمونه را تخمین زد. به طور عمومی این روش از روش‌های بازنمونه‌گیری به حساب می‌آید.

بوت استرپینگ در واقع تخمین ویژگی‌های (مثل واریانس) یک برآوردها با استفاده از اندازه‌گیری همین ویژگی‌ها در یک توزیع تقریبی از کل داده‌های نمونه است. در حالتی که بتوان فرض کرد مجموعه‌ای از مشاهده‌ها از جمعیتی مستقل و به طور مساوی توزیع شده می‌باشد، بوت استرپینگ می‌تواند با ساخت تعدادی بازنمونه پیاده‌سازی شود، که هرکدام از این بازنمونه‌ها، در واقع نمونه‌هایی تصادفی با جایگذاری از مجموعه داده‌های اصلی هستند. همچنین از بوت استرپینگ می‌توان در ساخت آزمون فرض آماری استفاده کرد. از این روش معمولاً به عنوان جایگزینی برای روش‌های استنباطی بر پایه فرض‌های پارامتری هنگامی که در مورد این فرض‌ها شک داشته باشیم استفاده می‌شود.

$$D = \frac{1000}{d_a} \quad (2)$$

D : تراکم (veh/km/ln)

d_s : متوسط سرفاصله مکانی در هر خط عبوری (m)

البته لازم به ذکر است در تئوری جریان ترافیک، سرفاصله زمانی از اهمیت بالاتری نسبت به سرفاصله مکانی برخوردار است. علت اصلی این امر، رابطه مستقیمی است که بین میانگین سرفاصله زمانی با حجم جریان برقرار است. علیرغم این که بین سرفاصله مکانی با چگالی نیز ارتباط برقرار می‌باشد، اما از آنجایی که در مهندسی حمل و نقل، حجم جریان معمولاً پارامتر پرکاربردتری است، مطالعات پیش‌تری در خصوص سرفاصله زمانی انجام گرفته است (Dong et al., 2015).

یکی دیگر از دلایل اهمیت مطالعه بیش‌تر سرفاصله زمانی را می‌توان این‌گونه شرح داد که در حرکت‌های گروهی رانندگان خودروی دنبال‌کننده، سرفاصله زمانی را با توجه به ایمنی تنظیم می‌کنند که یکی از جنبه‌های آن زمان عکس‌العمل است. این مسئله می‌تواند فرض شود که حساسیت سرفاصله زمانی در مقایسه با سرفاصله مکانی نسبت به سرعت خودروی دنبال‌کننده کم‌تر است و به عبارتی تأثیرپذیری سرفاصله زمانی نسبت به تغییرات سرعت کم‌تر است. در حالی که سرفاصله مکانی به شدت تحت تأثیر تغییرات موضعی سرعت است (Luttinen, 1992).

میانگین سرعت مکانی نیز با استفاده از پارامترهای سرفاصله زمانی و مکانی محاسبه می‌شود. در رابطه (۳) نحوه محاسبه سرعت مکانی ارائه شده است:

$$v = \frac{3600}{h_a} \quad (3)$$

S: متوسط سرعت مکانی (m/s)

h_a : متوسط سرفاصله زمانی در هر خط عبوری (s)

d_s : متوسط سرفاصله مکانی در خط عبوری (m)

در نتیجه با توجه به روابط ارائه شده در قسمت بالا، با داشتن سرفاصله زمانی و مکانی در یک بازه مشخص، پارامترهای دیگر نظیر نرخ جریان، تراکم و سرعت جریان قابل محاسبه است (شریعت، ۱۳۹۴).

پرت و نامنظم بودن داده های برداشت شده، ابتدا به پاکسازی و مرتب نمودن آن ها و با توجه به معیارهای مختلف به گروه بندی داده ها پرداخته می شود.

پس از گروه بندی داده ها، توزیع های مختلف بر داده های هر گروه برازش شده و خوبی برازش با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمینوف با p -value برابر با ۰/۰۵ سنجیده می شود. در نهایت بهترین توزیع برای هر گروه انتخاب و ارائه می گردد.

۳-۴-۲- تعیین داده های مورد نیاز

به منظور بررسی توزیع سرفاصله زمانی در شرایط یکسان، گروه های داده ها باید در شرایطی تحلیل شوند که در آن فقط شرایط آب و هوایی متغیر باشد. از این رو، برای تفکیک داده ها و ایجاد شرایط یکسان، اطلاعاتی مانند شرایط آب و هوایی، سرفاصله های زمانی و زمان برداشت داده ها، وضعیت روز و شب، حجم عبوری از مسیر و فاصله دید مورد نیاز است.

۳-۴-۳- پاک سازی داده ها

به منظور مرتب کردن و پاک سازی داده ها، مقادیر اشتباه اصلاح یا حذف شده و داده های موجود با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده گروه بندی می شوند.

۳-۴-۴- توصیف آماری داده ها

در این پژوهش داده های برداشت شده از سیستم توزین در حال حرکت در مسیر همدان مورد تحلیل قرار گرفته است. این داده ها شامل زمان عبور، سرعت، سرفاصله زمانی، وزن محور خودروها و نوع خودرو هستند. داده ها در بازه زمانی مرداد ماه سال ۱۳۹۵ تا دی ماه همان سال در خط سبقت بزرگراه سنندج-همدان در ایستگاه شکل ۸ برداشت شده اند. محور سنندج-همدان به عنوان قسمتی از کریدور مهم و ترانزیتی که مبادی ورودی جنوب کشور به مرکز و از مرکز به مرزهای خروجی غرب کشور (کردستان عراق) را به هم متصل می نماید، مطرح می باشد و به همین دلیل حجم زیاد ترافیک، ترانزیتی و ترافیک گردشگری غرب کشور را شامل می شود. طراحی این بزرگراه با مشخصاتی از قبیل سه خط عبور رفت و سه خط برگشت به صورت جداشده، سرعت طرح ۱۱۰ کیلومتر در ساعت و عرض سواره رو ۱۱.۵ متر و

همچنین در استنباط پارامتری زمانی که محاسبه خطای استاندارد فرمول محاسباتی پیچیده شود، بوت استرپینگ مورد استفاده قرار می گیرد (Toma et al., 2017). در این پژوهش، با توجه به کم بودن تعداد داده ها در برخی گروه ها، برای تخمین توزیع مناسب از بوت استرپینگ استفاده شده است.

۳-۴-۴- روند پژوهش

پس از بیان مرور ادبیات گسترده در رابطه با پارامترهای تاثیرگذار بر توزیع سرفاصله زمانی، توزیع های معرفی شده و شرایط تحلیل سرفاصله ها، در این پژوهش بررسی توزیع سرفاصله زمانی برای زوج خودروهای مختلف برای شرایط مختلف آب و هوایی پیشنهاد شده است. در این فصل متدولوژی که برای ارزیابی سرفاصله زمانی و ارائه مدل های توزیع آن ها در این پژوهش به کار گرفته شده است، به صورت گام به گام شرح داده خواهد شد. در شکل ۷ فلوچارت روند کار نشان داده شده است.



شکل ۷. روند پژوهش

۳-۴-۱- متدولوژی پژوهش

نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم افزار آماری R است. برای تحلیل داده ها در شرایط آب و هوایی مختلف، با استفاده از زمان عبور خودروها وضعیت جوی مسیر در زمان مورد نظر به دست می آید. در ادامه با توجه به وجود داده های

۳-۴-۶- داده‌های پرت

با توجه به خطاهای دستگاه‌ها و محدودیت‌های برداشت داده‌ها، مقادیر داده‌های پرت ایجاد می‌شود. در داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، حدود ۱۶ درصد از داده‌ها پرت بوده که دلیل وجود این داده‌ها موارد زیر است:

- خطای تجهیزات سیستم توزین در حال حرکت،
- خطای تجهیزات برداشت داده‌های آب‌وهوایی،
- محدودیت‌های برداشت داده و فقدان اطلاعات در برخی زمان‌ها.

۳-۴-۷- حجم ساعتی

برای به دست آوردن حجم ساعتی، آمار عبور خودروها در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای به دست آمده و با در نظر گرفتن مجموع حجم‌های ۵ دقیقه‌ای، حجم ساعتی به دست آمده است.

۳-۴-۸- معیارهای گروه‌بندی داده‌ها

به منظور بررسی توزیع سرفاصله زمانی در شرایط آب‌وهوایی مختلف، باید سایر شرایط حاکم ثابت شده و تنها حالت متغیر بین گروه‌های ایجاد شده، شرایط آب‌وهوایی باشد. بنابراین داده‌های موجود با توجه به معیارهای زیر گروه‌بندی شده‌اند:

جدول ۱. معیارهای گروه‌بندی

معیار	توضیحات
وضعیت آب و هوایی	آب‌وهوای بارانی و خشک
حجم عبوری	کم‌تر از ۴۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت: کم بیش‌تر از ۴۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت: متوسط (Zwahlen et al., 2007)
نوع زوج خودرو	خودروی سبک و سنگین
شب و روز	-
خط عبوری	خودروهای عبوری خط ۱ (خط سبقت)
فاصله دید	کم‌تر از ۵ کیلومتر و بیشتر از آن

حداقل شعاع قوس ۲۵۰ متر می‌باشد. بزرگراه سنندج-همدان و محل ایستگاه توزین در حال حرکت در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸. محل برداشت داده‌های مورد مطالعه



شکل ۹. بزرگراه سنندج-همدان

۳-۴-۵- داده‌های هواشناسی

برای بررسی شرایط آب‌وهوایی مختلف، اطلاعات هواشناسی مسیر در زمان برداشت داده مورد نیاز است. به این منظور، داده‌های هواشناسی با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار R از سایت www.wunderground.com دریافت شده است. اطلاعات هواشناسی با داده‌های ترافیکی موجود ترکیب شده و همه داده‌های هواشناسی و ترافیکی موجود با در نظر گرفتن پارامترهای مورد نظر گروه‌بندی و تحلیل شده‌اند.

۳-۵- محدودیت‌ها

یک گروه با توزیع یکنواخت وجود دارد. می توان نتیجه گرفت که عمدتاً رانندگان در شرایط یکسان، سرفاصله های زمانی با توزیع یکنواخت را انتخاب نکرده و فاصله زوج خودروهایی مختلف حین حرکت متفاوت است. در ادامه به مقایسه و تحلیل مدل‌ها پرداخته می‌شود.

با توجه به وجود وقفه در برداشت داده‌ها توسط تجهیزات توزین در حال حرکت و در دسترس نبودن اطلاعات شرایط آب‌وهوایی برای همه زمان‌ها، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل در برخی شرایط موجود نبوده و سرفاصله زمانی با توجه به اطلاعات موجود تحلیل می‌گردد.

۵- مقایسه مدل‌ها

در این بخش، مدل‌های به دست آمده با توجه به شرایط برداشت داده‌های هر گروه مقایسه می‌گردند. به منظور مقایسه گروه‌ها با شرایط آب و هوایی متفاوت و ثابت ماندن شرایط دیگر، نتایج مقایسه گروه‌های متناظر با یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. به دلیل محدودیت‌های برداشت داده و فقدان اطلاعات در حالت‌های متناظر گروه‌های دیگر امکان مقایسه جزئی این گروه‌ها نیست. مدل‌های ارائه شده برای زیرگروه‌های موجود در این گروه‌ها با زوج خودروهایی یکسان به صورت شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ مقایسه می‌شود. در همه شکل‌ها، نمای سمت راست مربوط به حالت هوای صاف و نمای سمت چپ مربوط به هوای بارانی است.

۳-۶- گروه‌بندی داده‌ها

در ادامه گروه بندی داده‌ها با توجه به پارامترهای ذکر شده ارائه شده است. در نام گذاری این گروه‌ها، نمادهای استفاده شده به صورت جدول ۲ هستند. پس از جداسازی و طبقه‌بندی داده‌ها، ۳۶ گروه به دست آمدند.

جدول ۲. نمادهای استفاده شده در نام‌گذاری گروه‌ها

نماد	مفهوم
D/N	روز/شب
C/R	شرایط آب‌وهوایی صاف/بارانی
LV/HV	فاصله دید کم/تربیش‌تر از ۵ کیلومتر
LF/MF	حجم عبوری کم/متوسط
H/C	خودروی سنگین/سبک

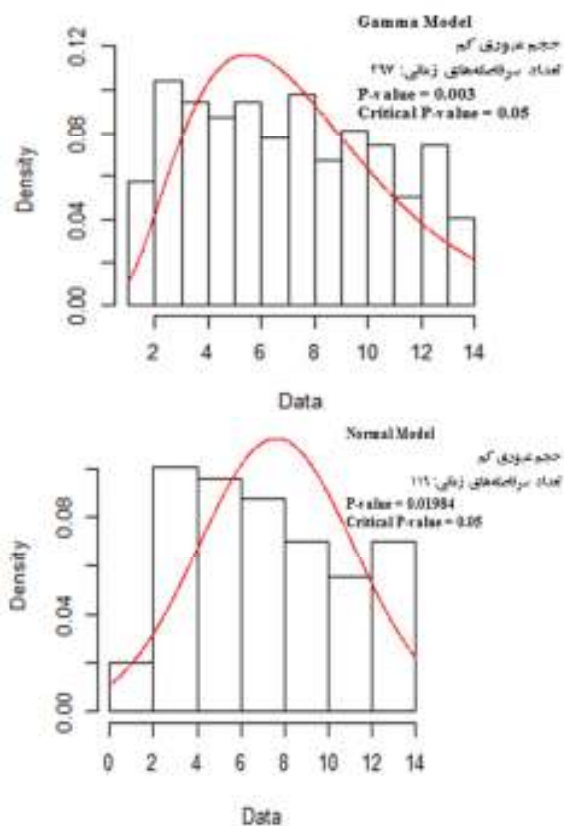
جدول ۳. توزیع‌های مورد استفاده در پژوهش

توزیع	تابع چگالی احتمال
نرمال	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
لوگ نرمال	$\frac{1}{t-\tau} \phi\left(\frac{\ln(t-\tau)-\mu}{\sigma}\right)$ اگر $t \geq \tau$ در غیر این صورت *
گاما	$x^{k-1} \frac{\exp(-x/\theta)}{\Gamma(k)\theta^k}$
نمایی	$\lambda e^{-\lambda t}$ اگر $t \geq 0$ در غیر این صورت *

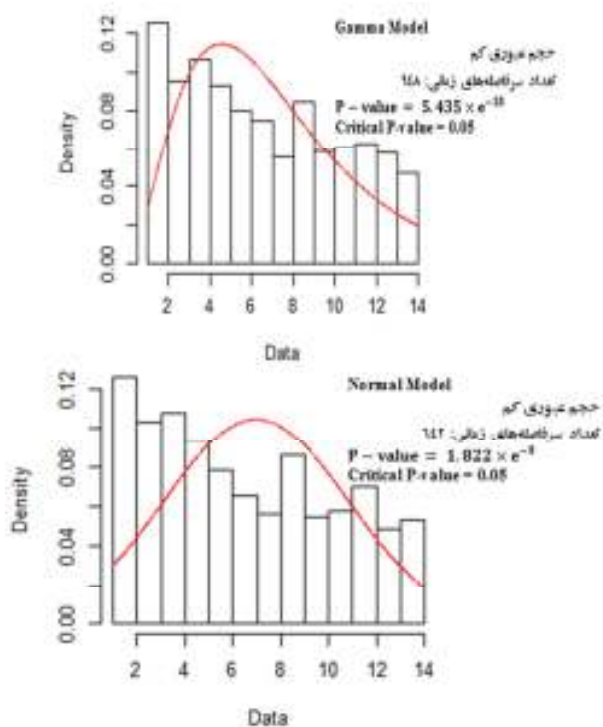
۴- توزیع سرفاصله زمانی

در ادامه توضیحات توزیع‌های برازش شده بر داده‌های سرفاصله زمانی در شرایط مختلف ارائه شده است. توزیع‌های برازش شده در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. توابع جدول ۲ برای همه گروه‌ها برازش شده و با استفاده از آزمون خوبی برازش، بهترین تابع برای هر گروه به دست آمده است.

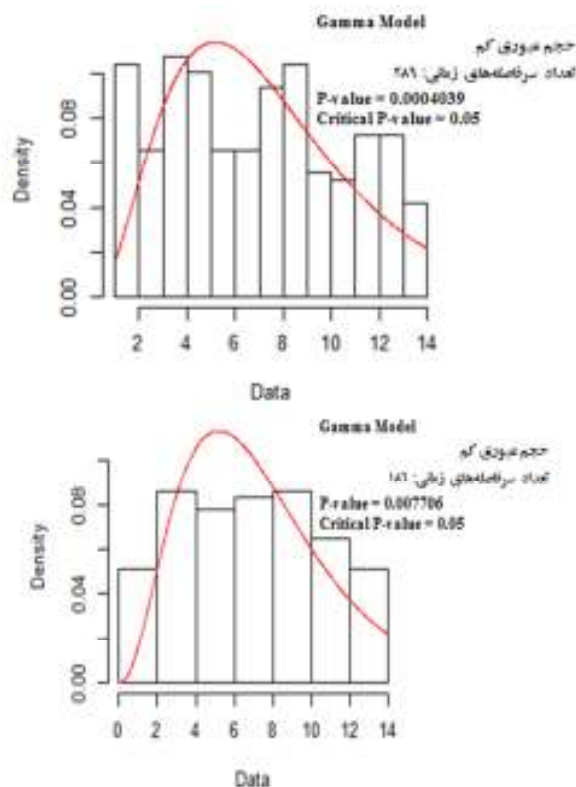
با توجه به مدل‌های به دست آمده بیشتر گروه‌ها دارای توزیع‌های غیریکنواخت گاما، نرمال و لوگ نرمال بوده و تنها



شکل ۱۰. توزیع‌های زیرگروه CH-گروه‌های D-R-LV-LF و D-C-LV-LF



شکل ۱۱. توزیع‌های زیرگروه CC-گروه‌های D-R-LV-LF و D-C-LV-LF



شکل ۱۲. توزیع های زیرگروه HC-گروه های D-C-LV-LF و D-R-LV-LF

با مقایسه نمودارهای حالت هوای صاف و بارانی مشاهده می شود که اغلب نمودارها دارای چولگی منفی هستند؛ بنابراین بیش تر سرفاصله های زمانی بخصوص در هوای بارانی، به سمت مقادیر کم تر از میانگین متمایل بوده و رانندگان سرفاصله های ایمن تری را در شرایط بارانی انتخاب می نمایند.

۶- نتیجه گیری

با مقایسه زیرگروه های مختلف در حالت آب و هوای صاف و بارانی نتایج زیر به دست می آید:

۱. به طور کلی توزیع های غیریکنواخت مانند گاما، نرمال و لوگ نرمال بهتر از توزیع های دیگر بر داده ها برازش شده اند.
۲. میانگین سرفاصله های زمانی در حالت بارانی بیش تر بوده و این موضوع را می توان ناشی از احتیاط بیش تر رانندگان به علت تر بودن روسازی دانست.
۳. در بیش تر گروه ها اختلاف میانگین سرفاصله ها در حالت هایی که خودروی سنگین تعقیب کننده است، از

با بررسی مدل های برازش شده مشاهده می شود که در اغلب گروه ها، میانگین سرفاصله زمانی انتخاب شده توسط رانندگان در شرایط هوای صاف و روسازی خشک بیش تر از مقدار متناظر آن در شرایط هوای بارانی و روسازی تر است. تقریباً همه توزیع های به دست آمده برای گروه ها غیر یکنواخت بوده و تنها یک گروه با توزیع یکنواخت مشاهده می شود. در مطالعات پیشین در این زمینه نیز اغلب توزیع های غیر یکنواخت برای گروه های زوج خودرو به دست آمده است. میانگین گروه ها در بیشتر گروه ها در حالت بارانی بیش تر است؛ این بدین معناست که رانندگان در هوای بارانی و روسازی تر، با احتیاط بیش تری رانندگی می کنند. با مقایسه میانگین گروه ها در حالتی که خودروی سنگین تعقیب کننده باشد، مشاهده می شود که مقادیر به دست آمده در این گروه ها از حالت های دیگر بیش تر است که قابلیت حرکت محدودتر خودروهای سنگین در مانور و ترمزگیری و احتیاط بیش تر رانندگان این خودروها می تواند دلیل آن باشد. این مشاهده با نتایج حاصل از مطالعات پیشین تطابق دارد.

-Efron, B. & Tibshirani, R.J. (1994), "An Introduction to the Bootstrap", Chapman and Hall/CRC, UK.

-Faheem, H. & Hashim, I. H. (2014), "Analysis of Traffic Characteristics at Multi-lane Divided Highways, Case Study from Cairo-Aswan Agriculture Highway", International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES), vol. 3, no. 1. pp. 58-65.

-Jang, J., Park, C., Kim, B., & Choi, N. (2011), "Modeling of time headway distribution on suburban arterial: Case study from South Korea", Procedia-Social and Behavioral Sciences, 16, pp.240-247.

-Kong, D., Guo, X., Yang, B., & Wu, D. (2016) "Analyzing the Impact of Trucks on Traffic Flow Based on an Improved Cellular Automaton Model", Discrete Dynamics in Nature and Society.

-Luttinen, R. T. (1992), "Statistical properties of vehicle time headways", Transportation research record, 92-92.

-Moridpour, S., & Aliakbari, M. (2016), "Headway Distributions in Urban Highways under Heavy Traffic Conditions", Journal of Geotechnical and Transportation Engineering, 2(2).

-Nadimi, N. et al. (1391), "Analysis of the segregation of various combinations of vehicle types in dense traffic conditions of the freeway interference zone", Transportation Engineering, No. 4, pp. 379-386 (in Persian).

-Shariat, A. (1394), "Traffic Engineering", Tehran: Ideh Pardazan-e Fan Va Honar (in Persian).

-Saffarzadeh, M. et al. (1390), "Analysis and modeling of the time headway of different combinations of automobile couples in dense traffic conditions of freeway" (in Persian).

-Toma, P., Miglietta, P. P., Zurlini, G., Valente, D., & Petrosillo, I. (2017), "A non-parametric bootstrap-data envelopment analysis approach for environmental policy

حالت های دیگر بیش تر بوده و این موضوع را می توان به علت قابلیت حرکت محدودتر خودروهای سنگین در مانور و ترمزگیری دانست.

۴. به طور کلی در زیرگروه های آب و هوای بارانی چولگی مقدار بیش تری دارد. این بدین معناست که داده ها به مقادیر کم تر متمایل هستند.

۷- پیشنهادات

موضوعاتی که برای بررسی بیشتر در مطالعات آتی در این زمینه پیشنهاد می شود به صورت زیر هستند:

۱. تحلیل و مدل سازی سرفاصله زمانی برای انواع دیگر مسیرها

۲. در نظر گرفتن پارامترهای بیش تر برای تحلیل سرفاصله زمانی،

۳. به دست آوردن سرفاصله بهینه از نظر ایمنی در سطوح سرویس مختلف

۴. بررسی تخلفات با توجه به تحلیل سرفاصله های زمانی.

۸- مراجع

-Abtahi, S. M., Tamannaee, M., & Haghshenash, H. (2011), "Analysis and Modeling time headway distributions under heavy traffic flow conditions in the urban highways: case of Isfahan", Transport, 26(4), pp. 375-382.

-Antoneli, F., Passos, F. M., Lopes, L. R., & Briones, M. R. (2018), "A Kolmogorov-Smirnov test for the molecular clock based on Bayesian ensembles of phylogenies". PLoS one, 13(1), e0190826.

-Daisuke, N., Izumi, S., & Fumihiko, O. (1999), "On estimation of vehicular time headway distribution parameters", Traffic Eng.

-Dong, S., Wang, H., Hurwitz, D., Zhang, G., & Shi, J. (2015), "Nonparametric modeling of vehicle-type-specific headway distribution in freeway work zones", Journal of Transportation Engineering, 141(11), 05015004.

-Zhang, G., Wang, Y., Wei, H., & Chen, Y. (2007), "Examining headway distribution models with urban freeway loop event data", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp.141-149.

-Zou, Y., Yang, H., Zhang, Y., Tang, J., & Zhang, W. (2017), "Mixture modeling of freeway speed and headway data using multivariate skew-t distributions". *Transport metrika A: Transport Science*, pp.1-22.

-Zwahlen, H., Oner, E., & Suravaram, K. (2007), "Approximated headway distributions of free-flowing traffic on Ohio freeways for work zone traffic simulations", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp.131-140.

planning and management of agricultural efficiency in EU countries". *Ecological Indicators*, 83, pp.132-143.

-TRB, "Highway Capacity Manual" (2010), *Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA.* ("HCM 2010").

-Weng, J., Meng, Q., & Fwa, T. F. (2014), "Vehicle headway distribution in work zones", *Transport metrika A: Transport Science*, 10(4), pp.285-303.

-Yu, F. (2014), "On statistical analysis of vehicle time-headways using mixed distribution models (Doctoral dissertation, University of Dundee).