

تحلیل توزیع سرفاصله زمانی و وسایل نقلیه در شرایط روز و شب تحت جریان سنگین ترافیک

محمد تمنایی*، دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سید مهدی ابطی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

حسین حق شناس، دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

E-mail: m_tamannaei@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۷ - پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۲۰

چکیده

هدف از این پژوهش، تحلیل توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در بزرگراه‌های چندخطه تحت شرایط تردد سنگین است. در این مطالعه، رفتار رانندگان جهت انتخاب سرفاصله در ساعات اوج ترافیک روز و شب مورد ارزیابی قرار گرفت. جمع‌آوری داده در بزرگراه شش خطه شهید خرازی اصفهان در ساعات اوج ترافیک و تحت شرایط غیرمنقطع انجام شد. با استفاده از آزمون‌های کای دو، نیکویی برازش مدل‌های آماری بر توزیع سرفاصله‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل توزیع لوگ‌نرمال انتقال یافته، مدلی مناسب جهت برازش بر توزیع سرفاصله‌ها در خط سبقت است، در حالی که مدل توزیع گامای انتقال یافته جهت برازش بر سرفاصله‌های خط میانی مناسب می‌باشد. تفاوت مدل توزیع سرفاصله‌ها در خطوط مختلف ناشی از تفاوت رفتار رانندگان در این خطوط است. در ساعات اوج جریان ترافیک الگوی دنباله‌روی رانندگان در خط سبقت متفاوت از خط میانی است؛ به گونه‌ای که اکثر رانندگان در خط سبقت حتی در سرعت‌های بالا، تمایل زیادی به تعقیب وسیله جلویی نشان می‌دهند. این امر سبب شده است که ظرفیت خطوط با یکدیگر متفاوت شوند و در نتیجه، توزیع و شاخص‌های آماری سرفاصله‌ها در شرایط نزدیک به ظرفیت هر خط با یکدیگر تفاوت قابل توجهی داشته باشند. همچنین بررسی نتایج حاصل از مقایسه در شرایط روز و شب نشان داد که رانندگان در شرایط تردد سنگین در ساعات شب، سرفاصله‌های ایمن‌تری نسبت به ساعات روز اختیار می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: سرفاصله زمانی، توزیع، رفتار رانندگان، دنباله‌روی

۱- مقدمه

رفتار رانندگان در انتخاب سرفاصله‌ها داشته باشند؛ چرا که نحوه توزیع سرفاصله‌ها بر پارامترهای مختلف جریان همچون ظرفیت، سطح سرویس و ایمنی، تأثیرگذار است (Arasan, 2003). 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 زمانی^۱، فاصله زمانی عبور دو وسیله نقلیه متوالی از یک شاخص معین در جاده می‌باشد (TRB, 2000). این پارامتر یکی از خصوصیات مهم خرد جریان ترافیک است که در مطالعات شبیه‌سازی و مدل‌سازی ترافیک، از اهمیت و کاربرد فراوانی برخوردار است. مدیران ترافیک و مهندسان طراح، به منظور برنامه‌ریزی صحیح در شرایط مختلف، باید شناخت دقیقی از

آمده مربوط به شرایط محلی است و لزوماً برای استفاده همگانی کاربرد ندارد. عوامل مختلفی بر نحوه توزیع سرفاصله‌های زمانی تأثیرگذار می‌باشند که از آن جمله می‌توان به میزان حجم ترافیک، درصد وسایل نقلیه سنگین، موقعیت خط، هندسه و سازه راه، شرایط زمانی (ساعات روز و شب) و آب و هوا اشاره کرد (Daisuke, 1999). به منظور شناخت توزیع‌های آماری مشهور استفاده شده جهت مدل‌سازی سرفاصله‌های زمانی، به چند نمونه از تحقیقات مربوطه اشاره می‌شود. می، توزیع‌های مختلف آماری را بر سرفاصله زمانی مربوط به ساعت اوج ترافیک صبح دو خط از یک آزادراه چهارخطه بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که برای هر دو خط آماربرداری، توزیع لوگ‌نرمال با مقدار انتقال $0/3$ تا $0/4$ ثانیه بهترین مدل جهت توزیع سرفاصله‌های زمانی در ترافیک نزدیک به ظرفیت است (Mei, 1993). در مطالعه‌ای که در بزرگراه‌های بین ایالتی ایلینویز امریکا انجام شد، سرفاصله‌های زمانی در نرخ تردهای متغیر از ۱۴۰ تا ۱۷۰۴ وسیله بر ساعت برخط جمع‌آوری شدند. در این مطالعه، استفاده از توزیع لوگ‌نرمال با انتقال $0/36$ ثانیه برای سرفاصله‌های مربوط به هر نرخ تردد در خطوط مختلف پیشنهاد شد (Sadeghhosseini, 2002). آراسان سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه را در یک بزرگراه شهری ۴ خطه جداشده در شهر چنای هند مورد بررسی قرار داد. توزیع آماری، نمایی منفی بر داده‌های مربوط به احجام مختلف ترافیک برآزش داده شد و مشخص گردید که این توزیع، جهت برآزش سرفاصله‌های زمانی، مدل مناسبی می‌باشد (Arasan, 2003). بهام و همکاران، سرفاصله وسایل نقلیه در دنباله‌روی حالت پایدار را مورد بررسی قرار دادند. سایت‌های آماربرداری شامل مقاطع پایه، رمپ و تداخلی بودند. نتایج نشان می‌داد که مدل لوگ‌نرمال انتقال‌یافته نسبت به مدل گامای انتقال‌یافته برآزش بهتری بر داده‌ها دارد (Bham et al., 2006). الغمدی تحلیلی بر سرفاصله‌های مشاهده شده از وسایل نقلیه در جاده‌های درون‌شهری ریاض (عربستان) انجام داد. طیف تردد وسایل نقلیه مشاهده شده در سه دسته کم (کمتر از ۴۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت برخط)، متوسط (بین ۴۰۰ تا ۱۲۰۰) و بالا (بیش از ۱۲۰۰) تقسیم شد. وی پس از بررسی داده‌ها، به این نتیجه رسید که مناسب‌ترین توزیع جهت داده‌های مربوط به حالت‌های تردد کم، متوسط و زیاد به ترتیب عبارتند از: توزیع

(Zhang et al., 2007). جهت اجرای شبیه‌سازی‌های دیجیتالی در فرآیند مدل‌سازی ترافیکی بزرگراه‌ها، اطلاعات توزیع سرفاصله‌های زمانی، کاربرد فراوانی دارد (Zwahlen, 2007). به علاوه با تحلیل سرفاصله‌ها می‌توان شناختی از علت تصادفات و راه‌های افزایش ایمنی جاده‌ها به دست آورد. این نکته قابل ذکر است که در اکثر مطالعات مدل‌سازی ظرفیت جاده‌ها، برخی نکات مربوط به ایمنی سرفاصله‌های وسایل نقلیه مدنظر قرار داده نمی‌شود و همین امر سبب بروز مشکلاتی در بهره‌برداری از راه‌ها می‌گردد (Yi et al., 2004). سرفاصله مناسب وسایل نقلیه در طول حرکت در جاده، سبب افزایش ایمنی و کاهش احتمال تصادفات شده، رضایت‌مندی بیشتر سفر را در پی خواهد داشت (Porter, B., 1998).

در ایران، تاکنون مطالعات محدودی پیرامون تحلیل سرفاصله وسایل نقلیه و ارزیابی رفتار رانندگان در انتخاب سرفاصله‌ها انجام شده است. در بخش اول این مطالعه تحلیل مناسبی از توزیع سرفاصله‌های وسایل نقلیه در جریان‌های ترافیک با شرایط غیرمنقطع^۱ و سطح تردد بالا ارائه گردید. در بخش دوم، مروری بر مطالعات گذشته ارائه می‌شود. نحوه گردآوری اطلاعات در بخش سوم توضیح داده شده است. در بخش چهارم، متدولوژی تحقیق به صورت گام به گام بیان شده است. در بخش پنجم، نتایج تحلیل‌های مربوط به گام‌های مختلف متدولوژی، به تفکیک مدل‌های آماری استفاده شده، ذکر شده و رفتار رانندگان جهت انتخاب سرفاصله در احجام مختلف تردد سنگین به تفکیک خطوط، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این بخش، تأثیر فاکتورهای حجم تردد وسایل نقلیه، موقعیت خطوط و ساعات روز و شب بر توزیع سرفاصله‌ها تعیین و ارتباط بین شاخص‌های آماری مدل‌های انتخاب شده با رفتار رانندگان در خطوط مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. در نهایت در بخش ششم، جمع‌بندی نهایی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

تاکنون مطالعات گوناگونی بر توزیع سرفاصله‌های وسایل نقلیه انجام شده است. محققان زیادی کوشیده‌اند با بررسی توزیع‌های آماری مختلف بر این داده‌ها به شناخت مناسبی از مدل توزیع سرفاصله‌ها دست یابند. البته بدیهی است که مدل‌های به‌دست

نقلیه در خطوط مختلف بزرگراه‌ها با شرایط تردد سنگین انجام شده‌است. در این مطالعه، اثر موقعیت خط و نیز اثر روشنایی جاده (روز یا شب بودن) بر توزیع سرفاصله‌های وسایل نقلیه در احجام تردد سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. برای گردآوری داده، بزرگراه شش‌خطه درون‌شهری شهید خرازی اصفهان انتخاب شد. داده‌های سرفاصله مربوط به دو خط از این بزرگراه در حالت پایدار جریان ترافیک و در ساعات اوج روز و شب جمع‌آوری شدند.

۳- گردآوری اطلاعات

جمع‌آوری داده از طول ۹۰ متر از یک مقطع پایه در بزرگراه شش‌خطه شهید خرازی اصفهان در آذرماه ۱۳۸۸ انجام شد. بزرگراه شهید خرازی بخشی از حلقه سوم شهری اصفهان است که تحت شرایط جریان غیرمنقطع قرار دارد. فاصله مقطع آماربرداری با شیرازه‌های بالادست و پایین‌دست به‌گونه‌ای است که جریان ترافیک عبوری تحت تأثیر ترافیک ورودی و خروجی شیرازه‌ها قرار ندارد. یک دوربین فیلمبرداری بر فراز ساختمان بلندی در مجاورت بزرگراه نصب و از جریان ترافیک عبوری در ساعات مختلف روز و شب به‌طور پیوسته فیلمبرداری شد. پس از بازبینی فیلم‌ها، یک بازه ۹۰ دقیقه‌ای مربوط به ساعات اوج ترافیک روز و نیز بازه‌ای ۹۰ دقیقه‌ای مربوط به ساعات اوج ترافیک شب برای استخراج داده‌های سرفاصله انتخاب شدند. در بازه‌های زمانی ذکر شده، سطوح بالایی از تردد بر جریان ترافیک حاکم بودند. داده‌های استخراجی مربوط به دو خط بودند: خط سبقت (خط چپ یا خط ۳) و خط میانی (خط ۲). برای هر خط، بازه زمانی به ۱۸ دسته ۵ دقیقه‌ای متوالی تقسیم شد. در مجموع، اطلاعات ترافیکی مربوط به ۷۲ دسته ۵ دقیقه‌ای (مربوط به خطوط ۲ و ۳ در ساعات روز و شب) استخراج گردید. این اطلاعات شامل سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه عبوری، نرخ تردد و سرعت متوسط بودند. با استفاده از نرم‌افزار یولید، لحظات عبور هر وسیله نقلیه از شاخص نصب شده در کنار جاده (نقطه مبنا) با دقت ۱.۳۰ ثانیه ثبت گردید. (نرم‌افزار یولید، نرم‌افزاری جهت تدوین فیلم است که از قابلیت نمایش فیلم با دقت ۱.۳۰ ثانیه و تغییر سرعت عبور فیلم برخوردار است.) در مجموع بیش از

نمایی منفی، توزیع نمایی انتقال یافته و توزیع ایرلنگ^۲. وی همچنین بیان داشت که اکثر مطالعات انجام شده مربوط به تردهای کم بوده است و مدل توزیع سرفاصله‌ها در تردهای بالا هنوز ابهامات فراوانی دارد (Al-Ghamdi, 2001). لوتین، آنالیز جامعی بر سرفاصله‌های وسایل نقلیه که در برخی از جاده‌های برون‌شهری فنلاند جمع‌آوری شده بود، انجام داد. نتایج مشخص‌کننده آن بود که توزیع گاما برای تردهای کم تا متوسط (که در آنها احتمال وقوع سرفاصله‌های کوتاه کمتر است) می‌تواند استفاده شود. وی همچنین پیشنهاد کرد: علی‌رغم این‌که توزیع لوگ‌نرمال به اندازه کافی، از سادگی و واقع‌بینی برخوردار نیست، می‌تواند به عنوان مدلی جهت توزیع سرفاصله‌های دنباله‌رو مورد توجه قرار گیرد (Luttinen, 1996). زالن و همکاران، قابلیت تعمیم توزیع تجمعی سرفاصله‌ها را برای احجام مختلف تردد و خطوط مختلف در آزادراه‌های اوهایو بررسی کردند. این مطالعه نشان می‌دهد که توزیع سرفاصله‌ها برای خطوط مختلف در احجام تردد یکسان تقریباً مشابه با یکدیگرند (Zwahlen, 2007). دایسوک و همکاران، با بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار بر توزیع سرفاصله زمانی وسایل نقلیه را در ژاپن به این نتیجه رسیدند که توزیع سرفاصله‌ها برای خطوط مختلف (حتی در شرایط حجم ترافیک یکسان) متفاوت می‌باشد. دلیل این امر آن است که میزان هشیاری و باریک‌بینی رانندگان در خطوط مختلف متفاوت می‌باشد (Daisuke, S., 1999).

در ایران مطالعاتی پیرامون تحلیل خرد رفتار رانندگان در مقاطع پایه بزرگراهی انجام شده است که برای نمونه می‌توان به مدل‌های ارایه شده توسط سادات‌حسینی جهت توصیف رفتار حرکتی وسایل نقلیه در بزرگراه شهید همت تهران اشاره کرد (سادات‌حسینی، ۱۳۸۷). با این‌حال، تاکنون گزارشی پیرامون تحلیل و مدل‌سازی توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در مقاطع آزادراهی و بزرگراهی ایران ارایه نشده است. همچنین مطالعات قبلی انجام شده در سایر کشورها پیرامون موضوع تحلیل سرفاصله‌ها، بر مبنای کل سرفاصله‌های برداشت شده در مقطع راه و بدون تفکیک سرفاصله‌ها در خطوط مختلف انجام شده‌اند. اکثر این مطالعات، مبتنی بر شرایط نرخ تردد کم یا متوسط بوده‌اند. مطالعه حاضر، نتایج مطالعه‌ای را گزارش می‌کند که با هدف بررسی و تحلیل توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل

جدول ۱. ویژگی‌های آماری سرفاصله‌های جمع‌آوری شده

مشخصات	خط سبقت (۳)		خط میانی (۲)	
	روز	شب	روز	شب
بیشینه نرخ تردد (pc/h/ln)	۲۶۰۸	۲۳۶۴	۱۹۵۸	۱۸۷۲
کمینه نرخ تردد (pc/h/ln)	۱۸۴۲	۱۵۴۸	۱۵۱۸	۱۴۵۲
درصد وسایل نقلیه سواری	۹۷/۲	۹۷/۸	۹۰/۶	۹۳/۶
اندازه نمونه	۳۰۴۹	۲۸۴۲	۲۳۴۴	۲۲۹۸
سرعت متوسط مکانی (کیلومتر بر ساعت)	۸۷/۳	۷۷/۸	۷۹/۴	۶۹/۸
میانگین سرفاصله‌ها (ثانیه)	۱/۶۹	۱/۸۳	۲/۱۸	۲/۲۳
میانه سرفاصله‌ها (ثانیه)	۱/۳۰	۱/۴۳	۱/۷۸	۱/۸۵
سرفاصله ماکزیمم (ثانیه)	۱۲/۷۷	۱۴/۱۷	۱۱/۶۲	۱۲/۶۷
سرفاصله مینیمم (ثانیه)	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲

به منظور طبقه‌بندی سرفاصله‌های جمع‌آوری شده، برای هر خط دامنه‌های تردد با طول 100 pc/h/ln تعریف شدند و سرفاصله‌های متعلق به دسته‌های ۵ دقیقه‌ای در دامنه تردد مربوطه قرار گرفتند. به عنوان نمونه، سرفاصله‌های متعلق به دسته‌ای با نرخ تردد ۱۹۶۷ در دامنه تردد ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰ قرار داده شدند. در جدول ۲، برخی مشخصات آماری سرفاصله‌های زمانی قرار گرفته در هر دامنه تردد ارائه شده‌اند. مقادیر ارائه شده در این جدول، مربوط به سرفاصله‌های جمع‌آوری شده در ساعات روز می‌باشد. جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش حجم تردد، میانگین سرفاصله‌ها و انحراف معیار آنها کاهش می‌یابند. در هر دامنه تردد، با مقایسه مقادیر میانه و میانگین سرفاصله‌ها، مشاهده می‌شود که در شرایط مختلف تردد، مقدار میانه کمتر از میانگین است. این مسئله بیانگر تمرکز زیاد سرفاصله‌های کوتاه در شرایط مختلف می‌باشد؛ به گونه‌ای که ۵۰ درصد رانندگان سرفاصله‌ای کمتر از سرفاصله متوسط اختیار می‌کنند.

۱۰۰۰۰ سرفاصله از خطوط ۳ و ۲ در شرایط زمانی روز و شب ثبت شدند. لازم به ذکر است که بخش غالب ترکیب ترافیک در هر دو خط مربوط به وسایل نقلیه سواری بود. به گونه‌ای که درصد وسایل نقلیه سواری در خط ۳ و ۲ در ساعات روز به ترتیب برابر با $97/2$ درصد و $90/6$ درصد و در ساعات شب به ترتیب برابر با $97/8$ درصد و $93/6$ درصد بود. برای به دست آوردن نرخ تردد مربوط به هر دسته، با استفاده از ضرایب معادل سواری پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها HCM، تردد وسایل نقلیه به تردد معادل سواری تبدیل شد. نرخ تردد خط ۳ در ساعات روز از حدود ۱۸۰۰ تا بیش از ۲۵۰۰ معادل سواری در ساعت بر خط متغیر بود. در این مقدار برای خط ۲ از ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ معادل سواری بر ساعت بر خط بود. همچنین سرعت متوسط مکانی برای هر دسته ۵ دقیقه‌ای تعیین شد. برای انجام این کار، نمونه‌ای با اندازه ۳۰ وسیله نقلیه به طور تصادفی از هر دسته ۵ دقیقه‌ای انتخاب و زمان طی شده جهت عبور هر وسیله نقلیه از مقطع پایه محاسبه گردید. ویژگی‌های آماری اصلی سرفاصله‌های جمع‌آوری شده از خط ۳ و ۲ در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱. نمای از بزرگراه شهید خراسانی اصفهان

مطابق با جدول ۱، میانگین نرخ تردد عبوری از خط سبقت (خط ۳) بیش از میانگین نرخ تردد عبوری از خط ۲ بوده است. این امر نشان‌دهنده آن است که در ساعات اوج ترافیک، میزان استفاده وسایل نقلیه از دو خط به صورت متجانس نمی‌باشد. همچنین نتایج جداول ۱ نشان می‌دهد که در شرایط تردد سنگین، درصد بالایی از رانندگان در خط ۳ و بیش از نیمی از رانندگان در خط ۲ سرفاصله‌ای کمتر از مقدار ۲ ثانیه را اختیار می‌کنند.

جدول ۲. مشخصات آماری سرفاصله‌های زمانی مربوط به دامنه تردهای مختلف در ساعات روز

موقعیت	دامنه تردد	متوسط تردد	سرعت متوسط	میانگین سرفاصله‌ها (ثانیه)	میان سرفاصله‌ها (ثانیه)	انحراف معیار سرفاصله‌ها (ثانیه)
خط ۳	۱۸۰۱ - ۱۹۰۰	۱۸۵۰	۸۸/۳۶	۲/۱۲	۱/۵	۱/۷۹
	۱۹۰۱ - ۲۰۰۰	۱۹۵۰	۸۷/۲۷	۱/۸۹	۱/۴۳	۱/۴۵
	۲۰۰۱ - ۲۱۰۰	۲۰۵۰	۸۸/۴۶	۱/۷۹	۱/۴	۱/۳۴
	۲۱۰۱ - ۲۲۰۰	۲۱۵۰	۸۵/۹۹	۱/۸	۱/۳۷	۱/۴۶
	۲۲۰۱ - ۲۳۰۰	۲۲۵۰	۸۹/۷۵	۱/۵۸	۱/۲۳	۱/۲
	۲۳۰۱ - ۲۴۰۰	۲۳۵۰	۸۵/۳۲	۱/۴۶	۱/۲	۰/۹۳
	۲۴۰۱ - ۲۵۰۰	۲۴۵۰	۸۷/۸۲	۱/۴۷	۱/۱۸	۰/۹۸
خط ۲	۱۵۰۱ - ۱۶۰۰	۱۵۵۰	۷۷/۵۱	۲/۴	۲/۱۱	۱/۵۹
	۱۶۰۱ - ۱۷۰۰	۱۶۵۰	۷۷/۳۷	۲/۲۹	۱/۸۷	۱/۵۸
	۱۷۰۱ - ۱۸۰۰	۱۷۵۰	۸۱/۰۲	۲/۰۳	۱/۶۸	۱/۲۸
	۱۸۰۱ - ۱۹۰۰	۱۸۵۰	۸۳/۳۶	۲/۰۵	۱/۷۲	۱/۲۷
	۱۹۰۱ - ۲۰۰۰	۱۹۵۰	۸۱/۵۳	۱/۸۵	۱/۵۶	۱/۲۲

۴- متدولوژی تحقیق

به منظور یافتن مدل مناسب جهت توزیع سرفاصله‌های زمانی، مدل‌های آماری بایستی بر داده‌ها برازش شوند. در این مطالعه، توزیع‌های آماری لوگ‌نرمال انتقال‌یافته^۴ و گامای انتقال‌یافته^۵ به کار گرفته شدند. لوگ‌نرمال یک توزیع مشهور آماری است که به‌طور متعددی در مطالعات مختلف مربوط به سرفاصله استفاده شده است. این توزیع همچنین به‌عنوان توزیعی مناسب جهت سرفاصله‌ها تحت شرایط دنباله‌روی پیشنهاد شده است (Greenberg, 1966). توزیع گاما نیز یکی از توزیع‌هایی است که به جهت انعطاف‌پذیری و سازگاری مناسب با داده‌ها، به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است (Zhang et al., 2007). فرمول ریاضی توزیع لوگ‌نرمال انتقال‌یافته عبارتست از:

$$f(t|\tau, \mu, \sigma) = \frac{\exp\left(-\frac{[\ln(t-\tau)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right)}{\sigma(t-\tau)\sqrt{2\pi}} \quad t > \tau \quad (۱)$$

که در آن τ مقدار انتقال به ثانیه می‌باشد. μ و σ دو پارامتر توزیع لوگ‌نرمال هستند که به ترتیب پارامتر موقعیت^۶ و پارامتر

مقیاس^۷ نامیده می‌شوند و می‌توان آنها را با استفاده از داده‌ها

تخمین زد:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i - \tau)}{n} \quad (۲)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i - \tau) - \hat{\mu}]^2}{n-1}} \quad (۳)$$

فرمول ریاضی توزیع گامای انتقال‌یافته عبارت است از:

$$f(t|\tau, \alpha, \beta) = \frac{\beta^{-\alpha} (t-\tau)^{\alpha-1} e^{-\frac{(t-\tau)}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)} \quad t > \tau \quad (۴)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy \quad (\text{الف-۴})$$

که در آن α و β دو پارامتر توزیع گاما هستند که به ترتیب پارامتر شکل^۸ و پارامتر مقیاس نامیده می‌شوند و می‌توان آنها را با استفاده از داده‌ها تخمین زد.

با سطح معناداری ۵ درصد، هرچه مقدار p-value بزرگتر از ۰/۰۵ باشد، تطابق داده‌ها با توزیع آماری برازش شده بر آنها بیشتر خواهد بود (Luttinen, 1996).

گام ۵: با استفاده از مدل انتخاب شده برای هریک از خطوط ۳ و ۲، نمودارهای توزیع سرفاصله‌های زمانی در سطوح مختلفی از ترددهای بالا به دست می‌آید. با این کار، امکان تبدیل مستقیم نرخ تردد و وسایل نقلیه به توزیع سرفاصله‌های متناظر فراهم می‌شود.

۵- بحث و جمع بندی

در ذیل، نتایج مربوط به گام‌های نام برده، ارائه می‌شود:

گام ۱: در هر خط نیکویی برازش مدل‌ها بر مجموع سرفاصله‌های جمع‌آوری شده از آن خط، بررسی شد. در این گام تعداد ۴۰۸ آزمون کای‌دو برای مدل‌های آماری با انتقال‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام گردید. جهت انجام هر آزمون کای‌دو، پارامترهای مربوط به توزیع آماری با استفاده از خود داده‌های سرفاصله تخمین زده شدند. جدول ۳ مقادیر h مربوط به تعداد ۲۰۴ آزمون کای‌دو که بر مجموع سرفاصله‌ها در خطوط ۳ و ۲ در ساعات روز برازش شدند را نشان می‌دهند. مقدار h برابر با ۱ نشان‌دهنده رد شدن آزمون کای‌دو و h برابر با صفر نشانه رد نشدن (پذیرش) آزمون می‌باشد. مطابق با جدول ۳، توزیع لوگ‌نرمال با انتقال متغیر از ۰/۱۳۵ ثانیه تا ۰/۲۷ ثانیه، بر سرفاصله‌های مربوط به خط سبقت در ساعات روز برازش مناسبی دارد. با این حال، این توزیع در هیچ مقدار انتقال، بر داده‌های خط ۲ برازش مناسب ندارد. همچنین نتایج مربوط به برازش توزیع گاما با مقادیر انتقال مختلف، بر داده‌های خط سبقت نشان می‌دهد که این توزیع، برای مدل کردن توزیع سرفاصله‌های خط سبقت در ساعات روز مناسب نیست. در حالی که توزیع گاما با انتقال متغیر از ۰/۴۹۵ ثانیه تا ۰/۷۵ ثانیه، بر داده‌های مربوط به خط میانی در ساعات روز برازش مناسبی دارد. در نتیجه مشخص شد که مدل مورد استفاده در خط سبقت، توزیع لوگ‌نرمال انتقال یافته و در خط میانی، گامای انتقال یافته است. با استفاده از آزمون‌های کای‌دو، دو توزیع لوگ‌نرمال و گاما با مقادیر مختلف انتقال (از ۰ تا ۰/۷۵ ثانیه) بر مجموع سرفاصله‌های مربوط به خط ۳ در ساعات شب نیز برازش

$$\ln(\hat{\beta}) + \psi(\hat{\alpha}) = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i - \tau)}{n} \quad (5)$$

$$\psi(x) = \frac{d[\ln \Gamma(x)]}{dx} \quad (5-f)$$

$$\hat{\alpha}\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \tau)}{n} \quad (6)$$

به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل برای توزیع سرفاصله‌ها در هر خط، توزیع‌های آماری لوگ‌نرمال انتقال یافته و گامای انتقال یافته با مقادیر انتقال متغیر از ۰ تا ۰/۷۵ ثانیه (با گام ۰/۱۵ ثانیه) امتحان شدند. نیکویی برازش مدل‌ها با استفاده از آزمون‌های کای‌دو با سطح معناداری ۵ درصد بررسی گردید. فرضیه آماری در هر آزمون به این صورت است: «فرضیه تطابق توزیع سرفاصله‌ها با مدل آماری برازش شده بر سرفاصله‌ها رد می‌شود (h=1) یا رد نمی‌شود (h=0)». متدولوژی استفاده شده جهت تعیین مناسب‌ترین مدل توزیع سرفاصله‌ها در شرایط مختلف عبارت است از:

گام ۱: برای هر خط، نیکویی برازش مدل‌های آماری بر مجموع سرفاصله‌های جمع‌آوری شده از آن خط، امتحان می‌شود.

گام ۲: نیکویی برازش مدل‌های آماری بر سرفاصله‌های مربوط به هر یک از دامنه‌های ۱۰۰ تایی تردد در شرایط مختلف (خطوط ۳ و ۲- ساعات روز و شب) امتحان می‌شود.

گام ۳: مدل‌هایی که به طور مشترک در هر دو گام قبلی پذیرفته شدند، انتخاب می‌شوند. مدل‌های منتخب در این گام، مدل‌هایی هستند که علاوه بر برازش مناسب بر مجموع سرفاصله‌های هر خط، بر سرفاصله‌های مربوط به دامنه‌های تردد مختلف هر خط نیز برازش مناسبی دارند.

گام ۴: از میان مدل‌های تعیین شده در گام ۳، مدلی که بیشترین میزان تطابق با داده‌ها را دارد به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب می‌شود. به این منظور پارامتر p-value مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامتر p-value، معیاری جهت تعیین میزان همسازی داده‌ها با توزیع فیت شده بر آنها می‌باشد. این پارامتر، احتمال بزرگتر بودن مقدار کای‌دو بحرانی از مقدار کای‌دو ناشی از داده‌ها را مشخص می‌کند. در صورتی که مقدار این احتمال کمتر از سطح معناداری آزمون باشد، فرضیه آماری رد می‌شود. در آزمون کای‌دو

۰/۲۴ ثانیه دارای بیشترین مقدار p-value بوده و در نتیجه به عنوان مدل نهایی توزیع سرفاصله‌های زمانی در خط سبقت در ساعات روز در نظر گرفته شد. همچنین مدل گاما با انتقال ۰/۶۹ ثانیه مدل نهایی توزیع سرفاصله‌ها در خط میانی محسوب گردید. شکل ۲، هیستوگرام توزیع سرفاصله‌ها در خطوط ۲ و ۳ در ساعات روز و همچنین مدل‌های برازش شده بر آنها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های کای دو در ساعات شب (جدول ۴) نتیجه می‌شود که مدل لوگ‌نرمال با انتقال ۰/۲۴ ثانیه، علاوه بر سرفاصله‌های مربوط به خط ۳ در ساعات روز، مدلی مناسب جهت سرفاصله‌های مربوط به خط ۲ در ساعات شب نیز می‌باشد. همچنین مدل گاما با انتقال ۰/۶۹ ثانیه جهت توزیع سرفاصله‌های مربوط به خط ۲ در ساعات روز و شب، مدلی مناسب است.

گام ۵: در گام ۲ بر سرفاصله‌های واقع در هریک از دامنه‌های تردد خط سبقت، مدل لوگ‌نرمال با انتقال ۰/۲۴ ثانیه، برازش شد. در هر برازش، دو پارامتر مدل لوگ‌نرمال (پارامترهای موقعیت و مقیاس) با استفاده از داده‌ها تخمین زده شدند. همچنین، میانگین نرخ تردهای ابتدا و انتهای هر دامنه، به عنوان نرخ تردد متوسط آن دامنه انتخاب شد. به این ترتیب، هر یک از پارامترهای تخمین زده شده متناظر با یک نرخ تردد متوسط می‌باشد. در نتیجه برای خط ۳ می‌توان پارامترهای مدل منتخب را به عنوان توابعی از نرخ تردد متوسط محاسبه کرد. این عملیات برای داده‌های مربوط به خط ۳ در ساعات روز و شب، به تفکیک انجام گردید. به طریق مشابه، برای خط ۲ پارامترهای مدل گاما با انتقال ۰/۶۹ ثانیه، محاسبه شدند. در جدول ۵ توابع محاسبه پارامترهای مختلف مدل‌های منتخب ارائه شده‌اند. با داشتن پارامترهای هر مدل، توزیع سرفاصله‌های زمانی در نرخ تردهای مختلف در هر خط به دست می‌آید. شکل ۳ نتایج پیش‌بینی توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در شرایط مختلف (خطوط سبقت و میانی- ساعات روز و شب) را در تردهای سنگین نشان می‌دهد. با داشتن توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه (شکل ۳) علاوه بر امکان ارتباط مستقیم بین نرخ تردد و نحوه توزیع سرفاصله‌ها در شرایط مختلف، امکان تحلیل رفتار رانندگان در دنباله روی در شرایط مختلف تردد فراهم می‌گردد.

داده شدند. مطابق با نتایج به دست آمده، توزیع لوگ‌نرمال با انتقال متغیر از ۰/۱۲ تا ۰/۳۳ ثانیه بر توزیع سرفاصله‌ها برازش مناسبی نشان داد. همچنین دو توزیع آماری نام برده با مقادیر انتقال از ۰ تا ۰/۷۵ ثانیه بر مجموع سرفاصله‌های مربوط به خط ۲ در ساعات شب برازش داده شدند. نتایج نشان داد که توزیع گاما با انتقال متغیر از ۰/۶۳ تا ۰/۷۵ ثانیه بر توزیع سرفاصله‌ها برازش مناسبی دارد. در این مرحله، تعداد ۲۰۴ آزمون کای دو بر داده‌های مربوط به ساعات شب انجام شد.

گام ۲: نیکویی برازش مدل‌ها بر سرفاصله‌های جمع‌آوری شده در هر خط مربوط به هر یک از دامنه‌های ۱۰۰ تایی تردد بررسی شد. در این گام، برای داده‌های مربوط به ساعات روز، تعداد ۵۶۱ آزمون کای دو توسط نرم‌افزار MATLAB انجام گردید. همچنین تعداد ۶۶۳ آزمون کای دو جهت برازش مدل‌های آماری بر سرفاصله‌های واقع در دامنه‌های تردد مربوط به ساعات شب انجام شد. برای سرفاصله‌های مربوط به هر دامنه تردد در خط سبقت، تناسب برازش توزیع لوگ‌نرمال با مقادیر انتقال مختلف بررسی گردید. با انجام عملیات مشابه برای داده‌های خط میانی، از توزیع گاما استفاده شد. جدول ۴ دامنه مدل‌های پذیرفته شده برای توزیع سرفاصله‌ها در خطوط سبقت و میانی در ساعات روز و شب را نشان می‌دهد.

گام ۳: مدل‌های آماری که به طور مشترک در دو گام قبلی پذیرفته شدند، مشخص گردیدند. بر این اساس، برای خط سبقت در ساعات روز، توزیع آماری لوگ‌نرمال با مقادیر انتقال متغیر از ۰/۱۳۵ تا ۰/۲۷ ثانیه، مدل‌های مناسب ارزیابی شدند. برای خط میانی در ساعات روز، توزیع آماری گاما با مقادیر انتقال متغیر از ۰/۶۴۵ تا ۰/۷۵ ثانیه به عنوان مدل‌هایی مناسب انتخاب شدند. برای سرفاصله‌های خط ۳ در ساعات شب، بازه مشترک برابر با توزیع لوگ‌نرمال با انتقال ۰/۲۱ تا ۰/۲۴ ثانیه بود. بازه مشترک در خط ۲ ساعات شب نیز، توزیع گاما با انتقال از ۰/۶۳ تا ۰/۷۵ ثانیه بود.

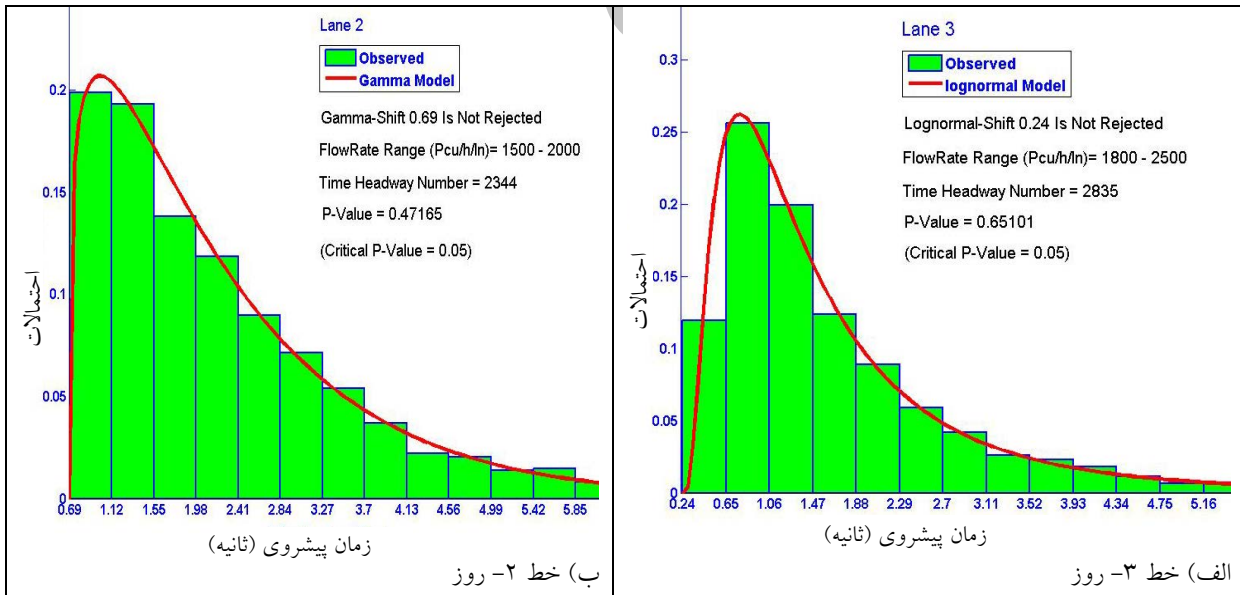
گام ۴: از میان مدل‌های تعیین شده در گام قبل، مدلی که از مقدار p-value بزرگ‌تری برخوردار بود به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. با بررسی نتایج p-value حاصل از آزمون‌های کای دو در خط سبقت مشخص شد که مدل لوگ‌نرمال با انتقال

جدول ۳. نتایج آزمون‌های کای دو برای توزیع سرفاصله‌ها در خطوط مختلف مربوط به ساعات روز

خط میانی (خط ۲)		خط سبقت (خط ۳)		انتقال ثانیه	خط میانی (خط ۲)		خط سبقت (خط ۳)		انتقال ثانیه
گاما	لوگ نرمال	گاما	لوگ نرمال		گاما	لوگ نرمال	گاما	لوگ نرمال	
۱	۱	۱	۱	۰/۳۹	۱	۱	۱	۱	۰
۱	۱	۱	۱	۰/۴۰۵	۱	۱	۱	۱	۰/۰۱۵
۱	۱	۱	۱	۰/۴۲	۱	۱	۱	۱	۰/۰۳
۱	۱	۱	۱	۰/۴۳۵	۱	۱	۱	۱	۰/۰۴۵
۱	۱	۱	۱	۰/۴۵	۱	۱	۱	۱	۰/۰۶
۱	۱	۱	۱	۰/۴۶۵	۱	۱	۱	۱	۰/۰۷۵
۱	۱	۱	۱	۰/۴۸	۱	۱	۱	۱	۰/۰۹
۰	۱	۱	۱	۰/۴۹۵	۱	۱	۱	۱	۰/۱۰۵
۰	۱	۱	۱	۰/۵۱	۱	۱	۱	۱	۰/۱۲
۰	۱	۱	۱	۰/۵۲۵	۱	۱	۱	۰	۰/۱۳۵
۰	۱	۱	۱	۰/۵۴	۱	۱	۱	۰	۰/۱۵
۰	۱	۱	۱	۰/۵۵۵	۱	۱	۱	۰	۰/۱۶۵
۰	۱	۱	۱	۰/۵۷	۱	۱	۱	۰	۰/۱۸
۰	۱	۱	۱	۰/۵۸۵	۱	۱	۱	۰	۰/۱۹۵
۰	۱	۱	۱	۰/۶	۱	۱	۱	۰	۰/۲۱
۰	۱	۱	۱	۰/۶۱۵	۱	۱	۱	۰	۰/۲۲۵
۰	۱	۱	۱	۰/۶۳	۱	۱	۱	۰	۰/۲۴
۰	۱	۱	۱	۰/۶۴۵	۱	۱	۱	۰	۰/۲۵۵
۰	۱	۱	۱	۰/۶۶	۱	۱	۱	۰	۰/۲۷
۰	۱	۱	۱	۰/۶۷۵	۱	۱	۱	۱	۰/۲۸۵
۰	۱	۱	۱	۰/۶۹	۱	۱	۱	۱	۰/۳
۰	۱	۱	۱	۰/۷۰۵	۱	۱	۱	۱	۰/۳۱۵
۰	۱	۱	۱	۰/۷۲	۱	۱	۱	۱	۰/۳۳
۰	۱	۱	۱	۰/۷۳۵	۱	۱	۱	۱	۰/۳۴۵
۰	۱	۱	۱	۰/۷۵	۱	۱	۱	۱	۰/۳۶
					۱	۱	۱	۱	۰/۳۷۵

جدول ۴. نتایج نهایی آزمون‌های کای دو پذیرفته شده برای داده‌های خطوط ۲ و ۳

دامنه انتقال‌های پذیرفته شده		دامنه تردد (pc/h/ln)	شرایط
شب	روز		
۰/۴۲ تا ۰/۰۰ ثانیه	-	۱۶۰۰ تا ۱۵۰۱	خط سبقت (خط ۳) توزیع لوگ نرمال انتقال یافته
۰/۲۴ تا ۰/۲۱ ثانیه	-	۱۷۰۰ تا ۱۶۰۱	
۰/۲۴ تا ۰/۰۰ ثانیه	-	۱۸۰۰ تا ۱۷۰۱	
۰/۴۲ تا ۰/۱۸ ثانیه	۰/۰۰ تا ۰/۴۳۵ ثانیه	۱۹۰۰ تا ۱۸۰۱	
۰/۷۵ تا ۰/۰۰ ثانیه	۰/۰۹ تا ۰/۳۱۵ ثانیه	۲۰۰۰ تا ۱۹۰۱	
۰/۳۹ تا ۰/۲۱ ثانیه	۰/۰۰ تا ۰/۲۸۵ ثانیه	۲۱۰۰ تا ۲۰۰۱	
۰/۲۷ تا ۰/۰۰ ثانیه	۰/۰۰ تا ۰/۴۳۵ ثانیه	۲۲۰۰ تا ۲۱۰۱	
-	۰/۰۰ تا ۰/۴۳۵ ثانیه	۲۳۰۰ تا ۲۲۰۱	
-	۰/۰۰ تا ۰/۲۸۵ ثانیه	۲۴۰۰ تا ۲۳۰۱	
-	۰/۰۰ تا ۰/۲۸۵ ثانیه	۲۵۰۰ تا ۲۴۰۱	
۰/۱۲ تا ۰/۳۳ ثانیه	۰/۲۷ تا ۰/۱۳۵ ثانیه	مجموع داده‌ها	خط میانی (خط ۲) توزیع گاما انتقال یافته
۰/۷۵ تا ۰/۳۹ ثانیه	۰/۵۷ تا ۰/۷۵ ثانیه	۱۶۰۰ تا ۱۵۰۱	
۰/۷۵ تا ۰/۵۷ ثانیه	۰/۲۱ تا ۰/۷۵ ثانیه	۱۷۰۰ تا ۱۶۰۱	
۰/۷۵ تا ۰/۳۹ ثانیه	۰/۶۴۵ تا ۰/۷۵ ثانیه	۱۸۰۰ تا ۱۷۰۱	
۰/۷۵ تا ۰/۵۷ ثانیه	۰/۷۵ تا ۰/۴۶۵ ثانیه	۱۹۰۰ تا ۱۸۰۱	
۰/۷۵ تا ۰/۶۳ ثانیه	۰/۷۵ تا ۰/۴۹۵ ثانیه	مجموع داده‌ها	



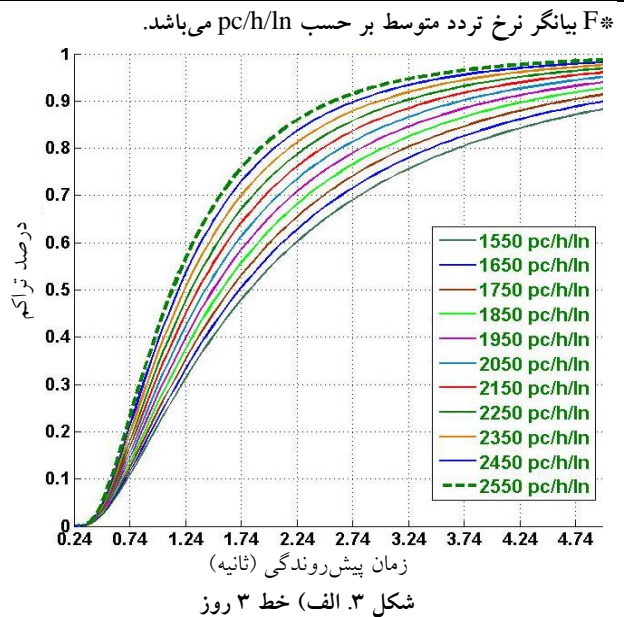
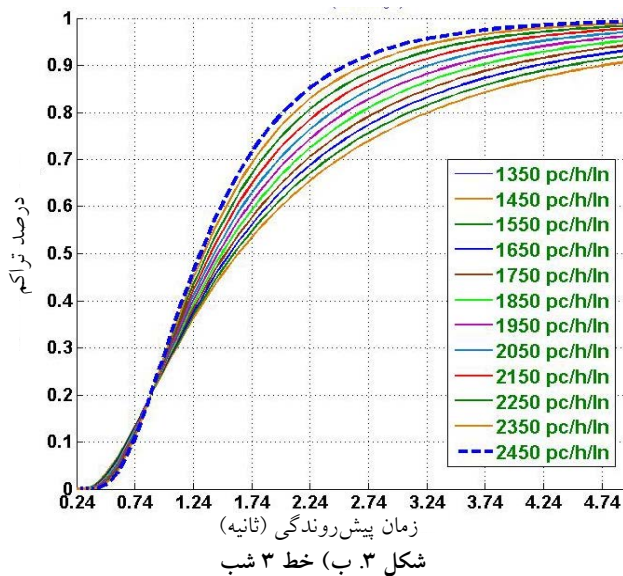
شکل ۲. مدل‌های انتخاب شده توزیع سرفاصله‌ها در خطوط ۲ و ۳ در ساعات روز

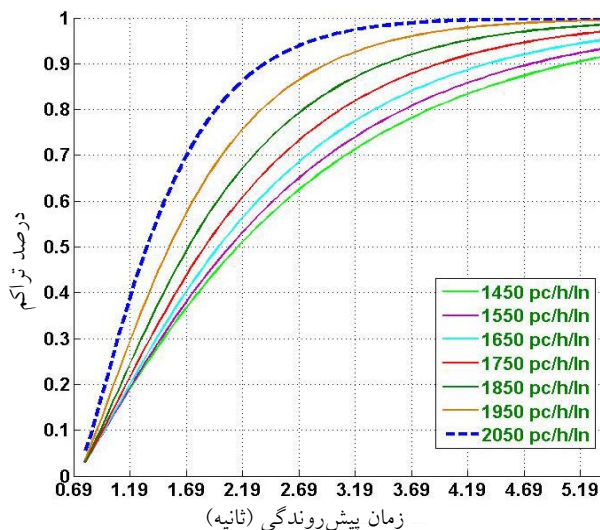
به دست آمده برای دو خط می باشد و نشان می دهد که نحوه رفتار رانندگان حتی در شرایط یکسان تردد نیز در خطوط مختلف متفاوت است. در ساعات اوج جریان ترافیک در خط ۳، نرخ تردد ماکزیمم مشاهده شده (ظرفیت) که در آن، وسایل نقلیه به صورت منطقی می توانند عبور کنند حدود 2500 pc/h/ln است. این مقدار برای خط ۲ حدود 2100 pc/h/ln است. الگوی رفتاری خاص رانندگان در خط سبقت و تمایل بالای آنان به دمرانی^{۱۱} با سرعت بالا، سبب شده میزان ظرفیت و ایمنی دنباله روی در خطوط با یکدیگر متفاوت باشد. مطابق با شکل ۳-الف در تردد نزدیک به ظرفیت در خط ۳ ساعات روز (حدود 2500 pc/h/ln) ۵۰ درصد رانندگان سرفاصله ای کمتر از $1/15$ ثانیه اختیار می کنند. (این مقدار برای داده های مشاهده شده برابر با $1/18$ ثانیه است) در حالی که مطابق با شکل ۳-ب، میان سرفاصله ها در تردد نزدیک به ظرفیت در خط ۲ ساعات روز (حدود 2100 pc/h/ln) برابر با $1/63$ ثانیه است (این مقدار برای داده های مشاهده شده برابر با $1/56$ ثانیه است).

در شرایط نرخ تردد یکسان، سرفاصله های وسایل نقلیه عبوری از خط ۳ در ساعات روز و ساعات شب با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاصل از این مقایسه - که با استفاده از آنالیز داده های مشاهده شده و نیز مدل ها به دست آمده اند- نشان داد که در شرایط نرخ تردهای یکسان و بالا، مقدار میانه سرفاصله های وسایل نقلیه عبوری از خط ۳ در ساعات شب بیش از این مقدار در ساعات روز است. این مسئله بیانگر آن است که رانندگان در جریان های ترافیک بالا مربوط به ساعات شب، سرفاصله های ایمن تری اختیار می کنند. به عبارت دیگر، شرایط نور و روشنایی (روز یا شب بودن) بر رفتار محتاطانه تر رانندگان در دنباله روی تأثیر گذار بوده است. همچنین در شرایط نرخ تردد یکسان، سرفاصله های وسایل نقلیه عبوری از خط ۳ و ۲ در ساعات روز با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاکی است که در تردد یکسان، میان سرفاصله ها در خط ۳ کمتر از خط ۲ می باشد. این مطلب که در نتایج مدل و نیز داده های مشاهده شده صادق است توجیه کننده تفاوت توزیع های

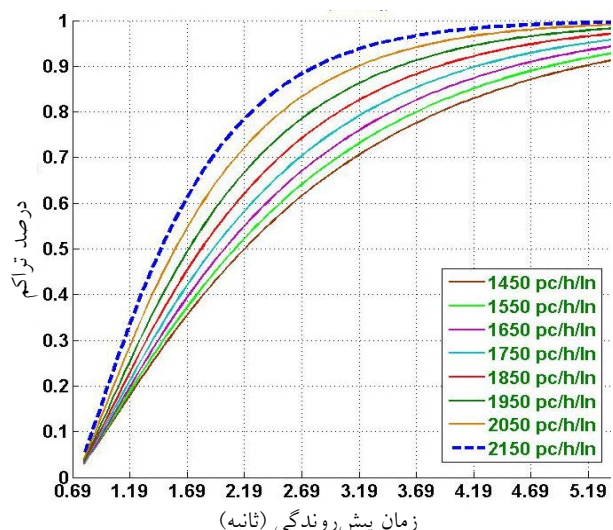
جدول ۵. توابع محاسبه پارامترهای مدل های منتخب در شرایط مختلف

مربوط به ساعات شب	مربوط به ساعات روز	محاسبه پارامترها
$\mu = 0.7010780 - 0.0002677 \times F \quad (R^2=0.85)$	$\mu = 1.323567 - 0.0005796 \times F^* \quad (R^2=0.95)$	خط ۳- لوگ نرمال
$\sigma = 1.3599690 - 0.0003131 \times F \quad (R^2=0.80)$	$\sigma = 1.181167 - 0.0001686 \times F \quad (R^2=0.65)$	با انتقال $0/24$ ثانیه
$\alpha = 0.2734076 + 0.0006372 \times F \quad (R^2=0.98)$	$\alpha = -0.32629 + 0.0009118 \times F \quad (R^2=0.95)$	خط ۲- گاما
$\beta = 4.4566627 - 0.0019629 \times F \quad (R^2=0.99)$	$\beta = 4.742495 - 0.0020101 \times F \quad (R^2=0.92)$	با انتقال $0/69$ ثانیه





شکل ۳. د) خط ۲ شب



شکل ۳. ج) خط ۲ روز

شکل ۳. نتایج پیش‌بینی توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در تردهای سنگین

۳- نتایج آنالیز داده‌های مشاهده شده و نیز مدل‌ها نشان داد که در شرایط نرخ تردهای بالا، مقدار میانه سرفاصله‌های وسایل نقلیه عبوری از خط سبقت در ساعات شب بیش از این مقدار در ساعات روز است. این مسئله بیانگر آن است که رانندگان در ساعات شب، سرفاصله‌های ایمن‌تری اختیار می‌کنند. به عبارت دیگر، شرایط نور و روشنایی (روز یا شب بودن) بر رفتار محتاطانه‌تر رانندگان در دنباله‌روی تأثیرگذار بوده است.

۴- به جهت الگوی دنباله‌روی خاص رانندگان در خط سبقت و تمایل بالای آنان به دمرانی با سرعت بالا در ساعات اوج جریان ترافیک، ظرفیت خط سبقت بیشتر از ظرفیت خط میانی است و به همین جهت، توزیع و شاخص‌های آماری سرفاصله‌ها در شرایط نزدیک به ظرفیت هر خط با یکدیگر تفاوت قابل توجهی دارند. تفاوت شاخص‌های آماری توزیع سرفاصله‌ها در خطوط سبقت و میانی، حتی در دامنه تردهای یکسان، نشان می‌دهد که رفتار رانندگان در این دو خط متفاوت می‌باشد.

قابل ذکر است که نتایج حاصل از این تحقیق، قابل تعمیم به شرایط مختلف بزرگراه‌های کشور ایران نیست. جهت استنباط دقیق و جامع نسبت به رفتار رانندگان در شهرهای مختلف ایران و مقایسه آنها با یکدیگر و نیز با نتایج حاصل از سایر کشورها، پیشنهاد می‌شود بزرگراه‌ها و آزادراه‌های درون‌شهری و برون‌شهری با شرایط هندسی و ترافیکی نسبتاً مشابه انتخاب

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش، با هدف تحلیل توزیع سرفاصله‌های زمانی وسایل نقلیه در بزرگراه‌های چندخطه تحت شرایط تردد سنگین انجام شد. در این تحقیق رفتار رانندگان ایرانی برای انتخاب سرفاصله در احجام مختلف تردد سنگین مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج زیر به دست آمد:

۱- در شرایط دنباله‌روی درصد بالایی از رانندگان در خطوط سبقت و میانی سرفاصله‌ای کمتر از سرفاصله متوسط ایمن اختیار می‌کنند. با مقایسه مقادیر میانه و میانگین سرفاصله‌های مشاهده شده، ملاحظه می‌گردد که در همه دامنه‌های تردد، مقدار میانه کمتر از میانگین است. این مسئله بیانگر تمرکز زیاد سرفاصله‌های کوتاه در شرایط مختلف می‌باشد؛ به گونه‌ای که ۵۰ درصد رانندگان سرفاصله‌ای کمتر از سرفاصله متوسط اختیار می‌کنند. این امر به دلیل بالا بودن میزان ریسک‌پذیری رانندگان است که منجر به کاهش ایمنی در رانندگی می‌گردد.

۲- نتایج به دست آمده از مدل کردن توزیع سرفاصله‌ها نشان می‌دهد که مدل مناسب برای توزیع سرفاصله‌ها در خطوط میانی و سبقت تحت شرایط تردد سنگین متفاوت می‌باشد. مدل لوگ‌نرمال با انتقال ۰/۲۴ ثانیه به عنوان مدل بهینه برای توزیع سرفاصله‌های خط سبقت انتخاب شد. در خط میانی مدل گاما با انتقال ۰/۶۹ ثانیه به عنوان مدل بهینه برگزیده شد.

- with urban freeway loop event data", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1999, Washington, D.C., pp. 141-149
- Zwahlen, H. T., Oner, E. and 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, No. 1999, Washington, D.C., pp. 131-140.
 - Yi, P., Zhang, Y., Lu, J. and Lu, H. (2004) "Safety-based capacity analysis for Chinese highways (a preliminary study)". IATSS research Vol. 28, No. 1.
 - Porter, B. and Berry T. (1998) "Rage behind the wheel on land and water", an inter-modal conference on aggressive behaviors. Norfolk, VA: Old Dominion University, Department of Psychology.
 - Daisuke, S., Izumi, O. and Fumihiko, N. (1999) "On estimation of vehicular time headway distribution parameters", Journal of Traffic Engineering, Japan, Vol. 34, No. 6, pp. 18-27.
 - Mei, M. and Bullen, A. (1993) "The Log-Normal distribution for high traffic flows", Transportation Research Board, TRB1398.
 - Sadeghosseini, S. (2002) "Time headway and platooning characteristics of vehicles on interstate highways", Doctoral Dissertation: University of Illinois, USA.
 - Bham, G., Ancha, S. and Rama, P. (2006) "Statistical models for preferred time headway and time headway of drivers in steady state car following", in 9th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation, American Society of Civil Engineers.
 - Al-Ghamdi, A. S. (2001) "Analysis of time Headways on urban roads: Case study from Riyadh", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 127, pp. 289-294.
 - Lutinen, R. T. (1996) "Statistical analysis of vehicle time headways". Doctoral Dissertation: Helsinki University of Technology, Finland.
 - Greenberg, I. (1966) "The Log-Normal distribution of headways", Australian Road Research, Vol. 2, No. 7, pp. 14-18.

شوند و با استفاده از متدولوژی ارایه شده در این تحقیق، رفتار رانندگان در انتخاب سرفاصله و نیز توزیع سرفاصله‌ها تحلیل و مدل‌سازی گردند. همچنین پیشنهاد می‌شود میزان تأثیر عواملی از قبیل اقلیم و نوع منطقه بر نتایج مدل‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. پژوهش‌هایی پیرامون مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف با نتایج تحقیقات ملی جهت استفاده در طراحی و تحلیل آزادراهها، بزرگراهها و خیابان‌های شهری نیز باید مورد توجه محققان قرار گیرد.

۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله تشکر و قدردانی خود را از شهرداری اصفهان به سبب همکاری در انجام این تحقیق، اعلام می‌دارند.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Time Headway
2. Uninterrupted Flow Conditions
3. Erlang Distribution
4. Shifted Lognormal
5. Shifted Gamma
6. Location Parameter
7. Scale Parameter
8. Shape Parameter
9. Goodness of Fit
10. Level of Significance
11. Tailgating

۹- مراجع

- سادات حسینی، م. (۱۳۸۷) "بررسی رفتار حرکتی وسایل نقلیه در قسمت اصلی آزادراه با استفاده از پردازش تصاویر"، پایان‌نامه دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، مرداد ۱۳۸۷.
- TRB (2000) "Highway capacity manual", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. ("HCM 2000").
- Arasan, T. (2003) "Headway distribution of heterogeneous traffic on urban arterials", Journal of Institute of Engineering (India), Vol. 84.
- Zhang, G., Wang, Y., Wei, H. and Chen, Y. (2007) "Examining headway distribution models