

## یادداشت پژوهشی

# تحلیل سرفاصله زمانی به تفکیک ترکیبات مختلف انواع زوج خودرو در شرایط جریان متراکم ترافیک ناحیه تداخلی آزاد راه

نوید ندیمی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سید صابر ناصر علوی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، تهران، ایران

سید رامتین باقری، پژوهشگر، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی زنجان، زنجان، ایران، پژوهشگر،

پژوهشکده حمل و نقل طراحان پارسه و مدرس، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی فومن، فومن، ایران

E-mail:navidnadimi@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۰۵/۰۱ پذیرش: ۹۱/۰۹/۲۸

### چکیده

سرفاصله زمانی بین خودروها از خصوصیات مهم رفتار رانندگی و جریان ترافیک است که بر ایمنی ترافیک، سطح سرویس و ظرفیت سامانه های حمل و نقلی تأثیری عمده دارد. مقاله حاضر به تحلیل گروههای مختلف سرفاصله های زمانی بر اساس ترکیبات مختلف انواع زوج خودروهای جلویی و تعقیب کننده می پردازد و با تحلیل و استنباط آماری نشان می دهد که رفتار رانندگان در فرآیند تعقیب خودرو در اتخاذ سرفاصله های زمانی مناسب، بستگی به نوع خودرو مورد نظر و خودروی جلویی دارد. بر اساس داده های ترافیکی آزاد راه I-۸۰ در Emeryville، کالیفرنیا و در شرایط جریان ترافیک متراکم، معلوم شد که تفاوت معنی داری، بین میانگین سرفاصله زمانی برای ترکیبات مختلف انواع زوج خودرو وجود دارد. سرفاصله زمانی گروه خودرو سنگین در تعقیب خودرو سنگین، بزرگ ترین و سرفاصله زمانی گروه های شامل موتورسیکلت و سواری در تعقیب سواری، کوچک ترین است. به علاوه، گروه های شامل خودروهای سنگین (سنگین در تعقیب سواری، سنگین در تعقیب سنگین و سواری در تعقیب سنگین) بزرگ ترین سرفاصله های زمانی را دارند که نشان می دهد با ازدیاد سهم خودروهای سنگین در ترکیب جریان ترافیک، میانگین سرفاصله های زمانی نیز بزرگ تر می شود. نتایج این تحقیق، با مشخص کردن تفاوت موجود در توزیع سرفاصله های زمانی براساس نوع وسائل نقلیه، می تواند در بهبود مدل های خرد شبیه سازی جریان ترافیک مفید باشد.

واژه های کلیدی: سرفاصله زمانی، ایمنی ترافیک، توزیع آماری، تعقیب خودرو

## ۱. مقدمه

سرفاصله زمانی بین خودروها از خصوصیات مهم رفتار رانندگی و جریان ترافیک به شمار می‌رود که به‌طور مستقیم بر ایمنی، سطح سرویس و ظرفیت سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای اثر می‌گذارد [May, 1990]. از نظر ایمنی سرفاصله‌های زمانی بزرگ و از لحاظ کارایی ترافیک، سرفاصله‌های زمانی کوچک مناسب‌تر اند. به عبارت دیگر از یک طرف، برای حفظ ایمنی، همواره باید یک مقدار حداقل سرفاصله‌زمانی رعایت گردد، که اهمیت این موضوع در مواقع احتمال کاهش ناگهانی سرعت خودروی جلویی بیشتر می‌شود؛ از طرف دیگر، با کاهش مقادیر سرفاصله‌های زمانی، جریان ترافیک افزایش می‌یابد. توزیع سرفاصله‌های زمانی بین خودروها همچنین در مواقع همگرایی دو جریان ترافیک اهمیت دارد. ظرفیت یک سیستم نیز تابعی از حداقل سرفاصله‌های زمانی بین خودروها و توزیع سرفاصله‌های زمانی در شرایط جریان برابر با ظرفیت است. به علاوه، از سرفاصله‌های زمانی در مدل‌های شبیه‌سازی خرد جهت تولید و وارد کردن واقع‌گرایانه خودروها به شبکه ترافیک، تحلیل پذیرش گپ [Sullivan and Trou - back, 1994] و مطالعات رفتار تعقیب خودرو [Dijker, Ve - Brackson, Watson and mijs and Bovy, 1997] [McDonald, 2009] استفاده می‌شود. بنابراین، تعیین توزیع سرفاصله‌های زمانی تحت شرایط جریان مشخص که مقالات متعددی نیز در خصوص آن در ادبیات تحقیق یافت می‌شود، حائز اهمیت است.

در مقاله حاضر، بر اساس ترکیبات مختلف انواع جفت خودروهای جلویی و تعقیب‌کننده (موتورسیکلت، خودروی سواری و کامیون سنگین)، شش گروه سرفاصله‌های زمانی تحلیل شده و اختلاف انواع گوناگون سرفاصله‌های زمانی در شرایط جریان ترافیک متراکم آزادراه بررسی می‌شود. مرور ادبیات تحقیق در بخش دوم و روش تحقیق در بخش سوم ارائه می‌شود. در ادامه، در بخش چهارم نتایج تحلیل آمار توصیفی و استنباطی بیان شده و نتیجه‌گیری تحقیق و پیشنهادات تحقیقات آتی در بخش پایانی ذکر می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات تحقیق

سرفاصله زمانی به‌عنوان زمان سپری شده بین عبور جلوی خودروی جلویی از نقطه‌ای از جاده تا عبور جلوی خودروی عقبی از همان نقطه از جاده مطابق رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$H = t_F - t_L \quad (1)$$

که در آن  $t_L$  و  $t_F$  به ترتیب زمان عبور خودروی تعقیب‌کننده و جلویی از مکان مشخصی از جاده است. سرفاصله‌های زمانی شامل دو بازه زمانی است:

الف- زمان اشغال که مدت زمانی است که مشاهده‌گر خودروی جلویی را مشاهده می‌کند، یا مدت زمان عبور جلوی خودروی جلویی از محل مشخص جاده تا اینکه این خودرو به طور کامل از آنجا عبور کند.

ب- زمان گپ که مشاهده‌گر، هیچ خودرویی را نمی‌بیند یا زمان بین عبور عقب خودروی جلویی تا جلوی خودروی عقبی.

تحقیقات توزیع سرفاصله‌های زمانی از دهها سال پیش انجام شده و مدل‌های بسیار زیادی نیز برای توصیف توزیع سرفاصله‌های زمانی پیشنهاد شده است. توزیع سرفاصله‌های زمانی خودرو بسته به شرایط ترافیکی مختلف، شامل: جریان کم (تردد تصادفی خودروها)، جریان متوسط و جریان زیاد (تردد قطعی خودروها)، عموماً به ترتیب با توزیع نمایی منفی، خانواده توزیع‌های ریاضی پیرسون نوع ۳ (گاما، ارلانگ، نمایی منفی و نمایی منفی جابجاشده) و توزیع نرمال مدل‌سازی می‌شوند [May, 1990]. مدل‌های ترکیبی، رویکرد دیگری جهت مدل‌سازی سرفاصله‌های زمانی خودرو است که به‌موجب آن جریان ترافیک به توزیع‌های جداگانه سرفاصله‌های زمانی بر اساس نسبت خودروهای مقید و غیرمقید در جریان ترافیک تقسیم شده و با یکدیگر ترکیب می‌شوند [May, 1990].

Hoogendoorn و Bovy بر این اعتقادند که مدل صف کلی (GQM) Branston تخمین سریع و دقیقی از توزیع سرفاصله‌های زمانی ترکیبی ارائه می‌دهد [Hoogendoorn and Bovy, 1998]. تمرکز اکثر مطالعات سرفاصله‌های زمانی بر جریان ترافیک مخلوط است که در آن، نوع خودرو نادیده گرفته می‌شود. در صورتی که، تأثیر کامیونها بر عملکرد و ایمنی سیستم ترافیک،

### ۳. روش تحقیق

در این مقاله، تحلیل سرفاصله زمانی با استفاده از داده‌های سرفاصله زمانی حدود ۳۰۶۷۰ زوج خودرو در جریان متراکم آزاد راه صورت می‌گیرد (داده‌های ترافیکی بکاررفته در این تحقیق مربوط به یک ربع ساعت، از ساعت ۴:۰۰ تا ۴:۱۵ بعد از ظهر از داده‌های خرد جریان ترافیک آزاد راه شش خط عبور ۸۰-I در - Emer ville، کالیفرنیا است که از پایگاه اینترنتی پروژه NGSIM گرفته شده است [NGSIM, 2009]. این داده‌ها در بعد از ظهر روز چهارشنبه، ۱۳ آوریل سال ۲۰۰۵ جمع‌آوری شده و شامل خط سیر ۲۰۵۲ خودرو در عبور از قسمت ۵۰۰ متری آزاد راه ۶ خط عبور است که اطلاعات وضعیت حرکتی هر خودرو شامل مکان، سرعت، شتاب و غیره در هر یک دهم ثانیه موجود است. [Kanji, 2006].

اطلاعات سرفاصله زمانی مورد نظر مقاله، از تردد حدود ۲۰۰۰ خودرو در قسمت ۵۰۰ متری از آزاد راه ۶ خط عبور که هر یک از خودروها تعداد مشخصی مرتبه از محلهای مشخصی (شناسگر مجازی) از آزادراه عبور می‌کنند، به دست آمده است. برای تعیین فواصل استقرار شناسگرهای مجازی که منجر به تولید اطلاعات سرفاصله زمانی مستقل از یکدیگر می‌شود، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف - Kolmogorov-Smirnov (K-S) استفاده شده است. این آزمون برای بررسی اختلاف معنی‌دار آماری بین توزیع سرفاصله زمانی در هر دو ایستگاه شناسگر مجاور بکار می‌رود تا اینکه از استقلال داده‌های جمع‌آوری شده در دو ایستگاه مجاور اطمینان حاصل شود. در این آزمون، توابع توزیع تجمعی دو توزیع سرفاصله زمانی محاسبه و بیشترین اختلاف بین آنها با مقدار بحرانی جدول آزمون، مقایسه می‌شود و در صورتی که مقدار مشاهده از مقدار بحرانی جدول بیشتر شود، آنگاه فرض صفر مبنی بر تشابه دو توزیع رد می‌شود [NGSIM, 2009]. این آزمون در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اطلاعات سرفاصله های زمانی، سپس، به شش گروه مجزا بر اساس ترکیبات مختلف نوع خودروی جلویی و تعقیب کننده به قرار زیر تقسیم بندی می‌شود:

سواری در تعقیب سواری

سنگین در تعقیب سواری

به علت خصوصیات عملکردی و فیزیکی خاص آنها، غیر قابل انکار است. به علت عدم توانایی در حفظ سرعت حرکت کامیونها در تعقیب خودروهای سواری، ترکیب ترافیک با تعداد کامیونهای زیاد حاوی فواصل آزاد بین خودرویی بزرگ تری در جریان ترافیک خواهد بود. در حالی که جریان ترافیک با تعداد کامیون کم، منجر به جریان ترافیک پایدارتر و سرفاصله‌های زمانی متراکم تر (واریانس کمتر) می‌شود.

مقاله Hoogendoorn و Bovy در ارتباط با رفتار تعقیب خودرو مبتنی بر نوع خودرو (خودروی سواری، کامیون سبک و کامیون سنگین) برای شرایط ترافیکی متراکم و غیرمتراکم و بر اساس داده‌های ترافیکی جمع‌آوری شده در جاده دو خط عبور در هلند، نشان داد فاصله تعقیب هر نوع خودرو در جریان ترافیک متراکم، برای خودروی سواری نزدیک تر از کامیونهای سبک و سنگین است، با این حال، وابستگی به نوع خودروی جلویی برای کامیونهای سبک نسبت به سواری بیشتر است [Hoogendoorn and Bovy, 2000]. Bovy و doorn در مقاله‌ای دیگر روشی جهت تخمین سرفاصله‌های زمانی مبتنی بر نوع خودرو بر اساس مدل صف بندی کلی Branston ارائه کردند. در مطالعه آنها سرفاصله های زمانی به چهارگروه بر اساس نوع خودرو (خودروی سواری، کامیون غیرمفصلی، کامیون مفصلی و موتورسیکلت) تقسیم [Hoogendoorn and Bovy, 1998] و برای ترافیک جاده دو خط عبور بین شهری در هلند، مدل‌های پیرسون نوع ۳ جهت توصیف توزیع سرفاصله زمانی در سه زمان مختلف: صبح، ظهر و شب بکار رفت. Zhang و Ye اخیراً با داده‌های یک شبانه روز شناسگر القایی مستقر شده در یک خط‌عبور آزاد راه IH-۳۵ در Austin، تگزاس به بررسی سرفاصله‌های زمانی برای ترکیبات مختلف انواع جفت خودروهای جلویی و تعقیب‌کننده پرداختند و چهار گروه سرفاصله زمانی (car-car، car-truck، truck-car، truck-truck) را استخراج و در سطوح مختلف جریان ترافیک مقایسه کردند [Ye and Zhang, 2009].

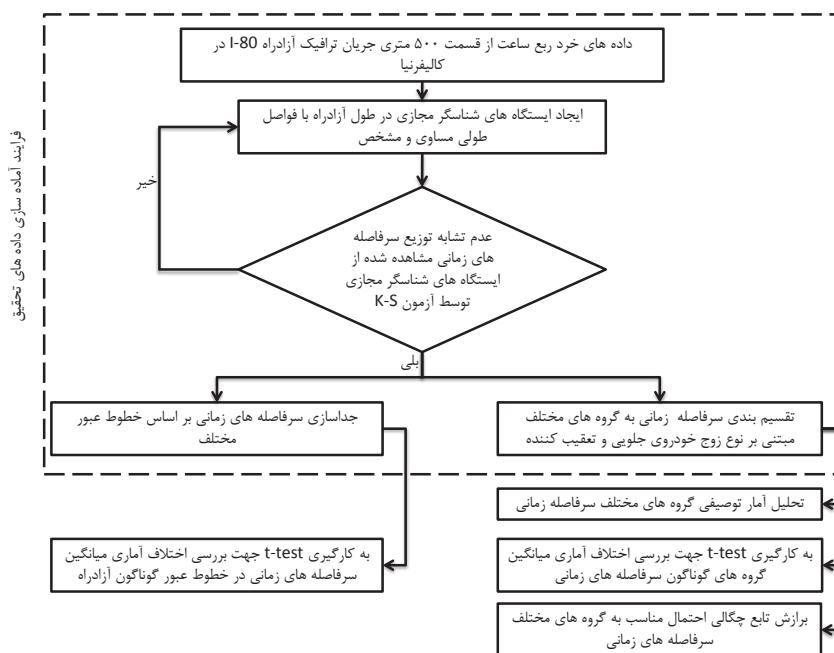
ترکیبات مختلف نوع خودروی جلویی و نوع خودروی تعقیب-کننده در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل آمار توصیفی این شش گروه سرفاصله زمانی مبتنی بر نوع خودرو همراه با سرفاصله زمانی کلی خودروها در جدول ۱ نشان داده می‌شود. سرفاصله زمانی کلی خودروها بر اساس این جدول، دارای نزدیک ترین مقادیر میانگین و انحراف معیار با سرفاصله‌های زمانی گروه سواری در تعقیب سواری در مقایسه با سایر انواع دیگر بوده، چرا که سرفاصله زمانی گروه سواری در تعقیب سواری نوع اکثریت (۹۰/۳ درصد کل مشاهدات) است. در میان مقادیر میانگین‌های گروه‌های مختلف، دو گروه سواری در تعقیب سواری و سواری در تعقیب موتور بسیار به هم نزدیک است. همه گروه‌های شامل کامیون، دارای میانگین سرفاصله‌های زمانی بزرگ تر از سایر انواع دیگر است. به عبارت دیگر، میانگین سرفاصله‌های زمانی سواری در تعقیب سواری و گروه‌های شامل موتورسیکلت به طور قابل ملاحظه نسبت به میانگین‌های سایر سه نوع دیگر کوچک تر است. ضریب تغییر (CV) برای گروه‌های مختلف، همان طور که در ستون آخر جدول ۱ مشاهده می‌شود، در بازه ۰/۴۸ تا ۰/۸۵ قرار دارد. با استفاده از ارقام میانگین سرفاصله زمانی برای

سواری در تعقیب سنگین  
سنگین در تعقیب سنگین  
سواری در تعقیب موتور  
موتور در تعقیب سواری

مقادیر متوسط و واریانس هر یک از ۶ گروه فوق محاسبه شده و t-test جهت مقایسه‌های آمار استنباطی میانگین گروه‌های مختلف سرفاصله زمانی بکار می‌رود. برای انجام این آزمون ابتدا فرض می‌شود (فرض صفر) که میانگین دو گروه مشخص سرفاصله زمانی با یکدیگر برابر است. سپس، بر اساس مشاهدات دو گروه سعی می‌شود با احتمال خطای معلومی (سطح معنی داری که در اینجا ۵ درصد اختیار شده است) فرض صفر رد شود. در نهایت به عنوان جمع بندی این بخش، در شکل ۱، مراحل مختلف تحقیق نشان داده شده است.

#### ۴. تحلیل و نتایج

۴-۱ تحلیل توصیفی سرفاصله‌های زمانی گروه‌های مختلف  
برای تحلیل سرفاصله زمانی، شش گروه سرفاصله‌زمانی بر اساس



شکل ۱. فلوچارت مراحل مختلف تحقیق حاضر

## تحلیل سرفاصله زمانی به تفکیک ترکیبات مختلف انواع زوج خودرو در ...

جدول ۱. نتایج تحلیل آمار توصیفی گروههای مختلف سرفاصله زمانی

ردیف	گروه سرفاصله زمانی	تعداد مشاهدات	میانگین (ثانیه)	انحراف معیار (ثانیه)	کمینه (ثانیه)	بیشینه (ثانیه)	ضریب تغییر (CV)
۱	سواری در تعقیب سواری	۲۷۶۹۵	۲/۶۵	۱/۵	۰/۱	۴۶/۷	۰/۵۷
۲	سنگین در تعقیب سواری	۱۱۶۶	۳/۸۷	۲/۱	۰/۱	۱۵	۰/۵۳
۳	سواری در تعقیب سنگین	۱۲۳۴	۳/۷۱	۱/۷	۰/۲	۲۳/۱	۰/۴۸
۴	سنگین در تعقیب سنگین	۲۰۸	۵/۸۶	۲/۸	۲/۰	۲۳/۸	۰/۴۸
۵	سواری در تعقیب موتور	۱۶۱	۲/۶۷	۲/۲	۰/۲	۱۰/۴	۰/۸۵
۶	موتور در تعقیب سواری	۲۰۶	۱/۷۳	۱/۰	۰/۱	۷	۰/۵۹
۷	مجموع	۳۰۶۷۰	۲/۷۵	۱/۶	۰/۱	۴۶/۷	۰/۵۹

موتورسیکلت به ندرت (در حدود ۱ تا ۲ درصد مشاهدات) کمتر از ۰/۵ ثانیه رخ می دهد؛ همچنین، سرفاصله های زمانی برای همه گروه ها به غیر از سنگین در تعقیب سنگین، به ندرت بیش از ۱۰ ثانیه رخ می دهد.

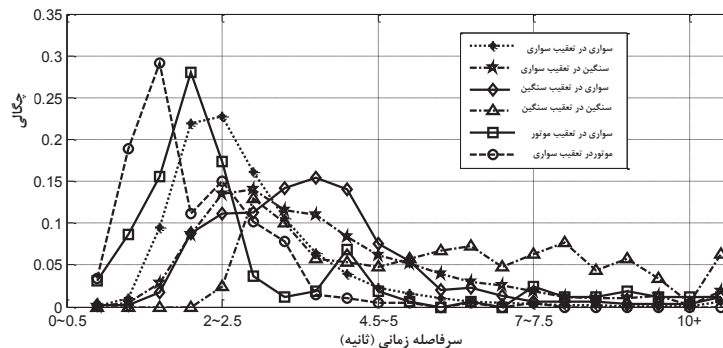
### ۲-۴ تحلیل استنباطی و توزیع سرفاصله های زمانی گروههای مختلف

بررسی تفاوت آماری بین میانگین شش گروه سرفاصله زمانی با t-test انجام شده و نتایج آن نشان می دهد که تفاوت اکثر میانگین های گروه های مختلف سرفاصله زمانی در سطح معنی داری ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی دار است. جدول ۲ مقایسه دو به دوی گروه های مختلف سرفاصله زمانی را ارائه می کند. در این جدول تنها مقایسه گروه هایی آورده شده است که با t-

دو گروه سواری در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سنگین در جدول ۱، جریان ترافیک حدود ۱۰ و ۲۲ خودرو در دقیقه به ترتیب برای جریان ترافیک متشکل از کامیون خالص و جریان ترافیک حاوی تنها خودروهای سواری حاصل می شود.

مقایسه شش گروه سرفاصله زمانی در سطح جریان ترافیک متراکم (شکل ۲) نشان می دهد منحنی های توزیع همه این شش نوع سرفاصله زمانی غیرهموار است که نشان می دهد سرفاصله های کوچک متفاوتی برای انواع مختلف وجود دارد. همچنین، با توجه به میزان همپوشانی کم منحنی های فراوانی نسبی شکل ۲، خصوصاً در سرفاصله های کمتر از ۷/۵ ثانیه، مشخص می شود که رفتار تعقیب خودرو در جریان متراکم به نوع خودروهای جلویی و تعقیب کننده بستگی دارد.

بر اساس شکل ۲، سرفاصله های زمانی برای گروه های غیر



شکل ۲. فراوانی نسبی سرفاصله زمانی گروه های مختلف مبتنی بر نوع زوج خودرو

جدول ۲. نتایج t-test جهت بررسی اختلاف آماری گروه‌های گوناگون سرفاصله‌های زمانی

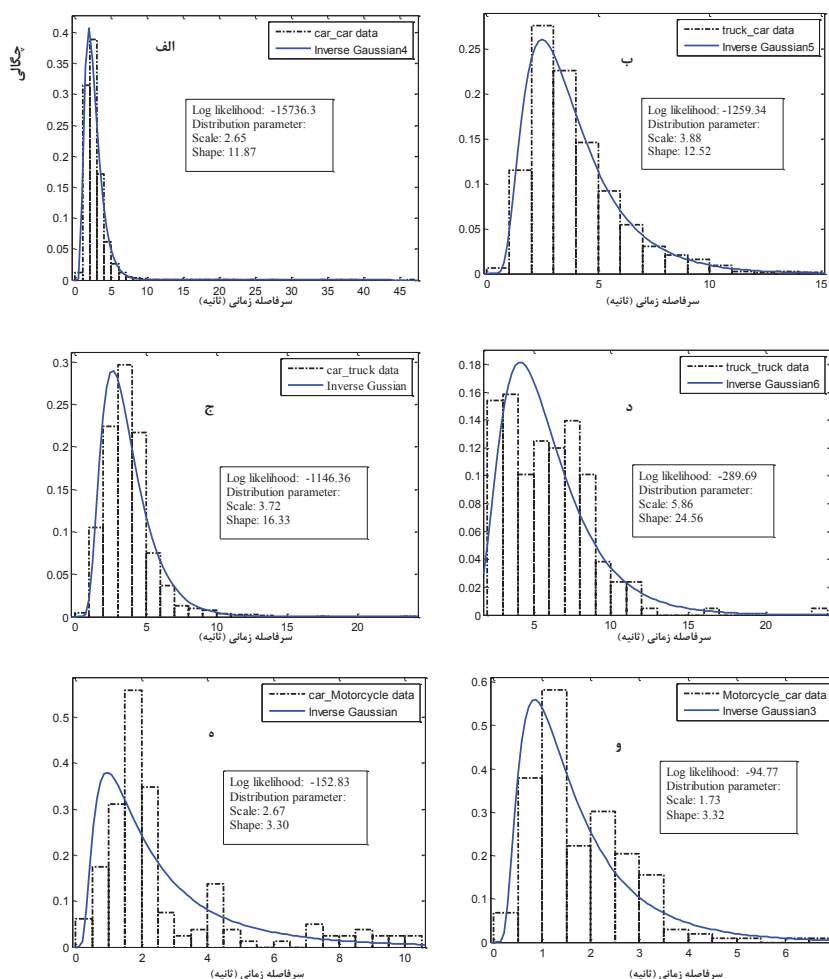
حالت اول	حالت دوم	سطح معنی داری	فاصله اطمینان تفاوت دو حالات*
سواری در تعقیب سواری	سنگین در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	-۱/۳۱۶ - ۱/۱۳۴
	سواری در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	-۱/۱۵۱ - ۰/۹۷۵
	سنگین در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	-۳/۴۲۱ - ۳/۰۰۰
	موتور در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۰/۷۱۵ - ۱/۱۳۳
	کلی	۰/۰۰۰	-۰/۱۳۱ - ۰/۰۷۹
سنگین در تعقیب سواری	سواری در تعقیب سنگین	۰/۰۴۰	۰/۰۰۷ - ۰/۳۱۷
	سنگین در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	-۲/۳۱۱ - ۱/۶۶۰
	سواری در تعقیب موتور	۰/۰۰۰	۰/۸۵۸ - ۱/۵۵۲
	موتور در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۱/۸۵۹ - ۲/۴۳۹
	کلی	۰/۰۰۰	۱/۰۲۳ - ۱/۲۱۶
سواری در تعقیب سنگین	سنگین در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	-۲/۴۳۸ - ۱/۸۵۸
	سواری در تعقیب موتور	۰/۰۰۰	۰/۷۳۹ - ۱/۳۴۷
	موتور در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۱/۷۳۶ - ۲/۲۳۸
	کلی	۰/۰۰۰	۰/۸۶۵ - ۱/۰۵۱
سنگین در تعقیب سنگین	سواری در تعقیب موتور	۰/۰۰۰	۲/۶۵۴ - ۳/۷۲۸
	موتور در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۳/۷۲۴ - ۴/۵۴۶
	کلی	۰/۰۰۰	۲/۸۸۲ - ۳/۳۲۹
سواری در تعقیب موتور	موتور در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۰/۵۹۲ - ۱/۲۹۶

\* فاصله اطمینان مثبت (منفی) دلالت بر کوچکتر بودن (بزرگتر بودن) حالت دوم از حالت اول را دارد.

نمایی منفی، نمایی منفی جابجا شده، نرمال و نرمال معکوس بر مشاهدات صورت گرفت، که نتایج خوبی برآزش، نشان داد که برای همه گروهها توزیع نرمال معکوس بهترین برآزش کننده است. این نتیجه با یافته‌های اخیر که در سطح جریان ترافیک بالا بهترین توزیع برآزش کننده مشاهدات سرفاصله های زمانی را توزیع نرمال معرفی شد [May, 1990]، تناقض دارد. شکل ۳ برآزش توزیع نرمال معکوس بر هیستوگرام سرفاصله زمانی در گروه های مختلف به همراه مقادیر پارامترهای این توزیع را برای هر گروه نشان می‌دهد. تحلیل توزیع سرفاصله زمانی مبتنی بر نوع خودرو نشان می‌دهد در سطح جریان ترافیک بالا، به علت مقادیر پارامترهای متفاوت توزیعهای

test در سطح معنی داری ۵ درصد با یکدیگر دارای اختلاف معنی دار هستند. در میان مقادیر میانگینهای گروههای مختلف، تنها اختلاف میانگین دو گروه سواری در تعقیب سواری و سواری در تعقیب موتور معنی دار نیست. همچنین، هر چند بر اساس جدول ۲، اختلاف میانگین دو گروه سواری در تعقیب سنگین و سنگین در تعقیب سواری معنی دار است، ولی این اختلاف ناچیز است. تحلیل مقایسه معنی داری آماری میانگین سرفاصله زمانی گروه‌های مختلف نشان می‌دهد در سطح جریان ترافیک بالا نیاز به طبقه‌بندی سرفاصله زمانی به گروه‌های مجزا مبتنی بر نوع زوج خودرو است. توصیف مشاهدات سرفاصله زمانی در گروههای مختلف با استفاده از برآزش چندین توزیع شامل توزیعهای گاما، ارلانگ،

## تحلیل سرفاصله زمانی به تفکیک ترکیبات مختلف انواع زوج خودرو در ...



شکل ۳. فراوانی نسبی گروه‌های مختلف سرفاصله زمانی و برازش تابع توزیع نرمال معکوس: الف- سواری در تعقیب سواری، ب- سنگین در تعقیب سواری، ج- سواری در تعقیب سنگین، د- سنگین در تعقیب سنگین، ه- سواری در تعقیب موتور، و- موتور در تعقیب سواری

خودرو استخراج و معلوم شد این شش گروه به‌طور معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، مدل‌سازی سرفاصله زمانی کلی خودروها ناکافی بوده و در تحلیل‌های سرفاصله زمانی بهتر است نوع خودروهای جلویی و تعقیب‌کننده در نظر گرفته شود. سرفاصله زمانی سنگین در تعقیب سنگین بزرگ‌ترین و سرفاصله های زمانی گروه شامل موتورسیکلت و سواری در تعقیب سواری کوچک‌ترین است که قابل انتظار بوده و با ادبیات تحقیق سازگار است؛ بر اساس ادبیات، سرفاصله زمانی گروه‌های شامل کامیون به علت اندازه‌های طولانی‌تر و قابلیت‌های ترمزگیری متفاوت کامیونها بزرگ‌تر است. اگر خودروی تعقیب‌کننده سنگین باشد، به‌علت عدم توانایی همراهی کردن سرعت با خودروی جلویی به اصطلاح جا می‌ماند و به‌همین دلیل سرفاصله های زمانی

مختلف سرفاصله زمانی، نیاز به طبقه‌بندی سرفاصله زمانی به گروه‌های مجزا مبتنی بر نوع زوج خودرو است.

## ۵. نتیجه‌گیری

تمرکز اصلی مقاله حاضر بر تحلیل سرفاصله زمانی به تفکیک ترکیبات مختلف انواع زوج خودرو در شرایط جریان متراکم ترافیک آزادراه است؛ چرا که در سطوح جریان ترافیک کم، به‌علت تردد اتفاقی خودروها، سرفاصله زمانی به نوع خودروهای جلویی و تعقیب‌کننده وابسته نیست. برای این منظور، بر اساس داده‌های سرفاصله زمانی به دست آمده از ۱۶ ایستگاه شناسگر مجازی مربوط به تردد ۲۰۵۲ خودرو در ربع ساعت از ترافیک آزادراه در شرایط جریان متراکم، شش گروه سرفاصله زمانی مبتنی بر نوع

nal of Transportation Engineering, ASCE 127(4), pp.289-294.

- Brackstone, M., Waterson, B. and McDonald, M. (2009) "Determinants of following headway in congested traffic", Transportation Research Part F- Traffic Psychology and Behavior, 12(2), pp.131-142

- Dijker, T., Vermijs, R. and Bovy, P.H. L. (1997) "Car-following in congested and non- congested conditions", Research Report VK 2206.301, Delft University of Technology.

- Hoogendoorn, Serge P. and Bovy, Piet, H. L. (1998) "New estimation technique for vehicle- type-specific headway distributions", Transportation Research Record, 1646, pp.18- 28.

- Hoogendoorn, Serge, P. and Bovy, Piet H. L. (2000) "A closer examination of overtaking prohibitions for trucks control in transportation systems Proceedings", Volume from 9th IFAC Symposium Braunschweig, Germany, Vol.1, pp.256 263.

- Kanji, K. (2006) "100 statistical tests", Third edition, London: SAGE Publications Ltd.

- Luttinen, R.T. (1992) "Statistical properties of vehicle time headways", Transportation Research Record 1365, TRB, Washington D.C.

- May, A. D. (1990) "Traffic flow fundamentals", New Jersey: Prentice Hal

- Meng, Q. and Khoo, H. L. (2009) "Self-similar characteristics of vehicle arrival pattern on highways", Journal of Transportation Engineering-ASCE, 135(11), pp.864-872

- NGSIM( 2006) "Next generation simulation", URL: <http://ngsim.fhwa.dot.gov>.

- Sullivan, D. P. and Troutbeck, R. J. (1994) "The use of Cowan's M3 headway distribution for modeling urban traffic flow", Traffic Engineering and Control, Vol.35, No.7, pp.445-450.

بزرگ مربوط به دو گروهی است که در آن خودروی تعقیب‌کننده خودروی سنگین است (یعنی سنگین در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سنگین). به‌علاوه، گروههای شامل خودروهای سنگین (یعنی سنگین در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سنگین و سواری در تعقیب سنگین) بزرگ‌ترین سرفاصله‌های زمانی را دارند که دلالت می‌کند بر این که هرگاه درصد خودروهای سنگین در جریان ترافیک زیادتر شود، میانگین سرفاصله‌های زمانی نیز بزرگ‌تر می‌شود. همچنین، تحلیلها نشان دادند که تغییرات سرفاصله‌های زمانی در خطوط عبور مختلف عمدتاً معنی‌دار است. این مقاله لزوم تحلیل سرفاصله‌های زمانی مبتنی بر نوع خودرو برای جریان ترافیک خرد برای همه شرایط جریان ترافیک به‌جز سطح جریان ترافیک خیلی کم را بیان می‌کند. نتایج این تحقیق کاربردهای بالقوه‌ای در زمینه‌های شبیه‌سازی خرد ترافیک و به‌طور مشخص‌تر، در توسعه و اعتبارسنجی مدل تولید خودرو در محیط شبیه‌سازی، مدل تعقیب خودرو و مدل تغییرخط دارد. این مطالعه بر اساس داده‌های ربع ساعت جریان ترافیک، قسمت ۵۰۰ متری از آزاد راه و تعداد ۲۰۵۲ راننده است. به‌ویژه، تحلیل‌های مربوط به گروه‌های سرفاصله‌های زمانی شامل موتورسیکلت به‌علت تردد تنها ۱۴ موتورسیکلت از قسمت تحت مطالعه آزاد راه، ممکن است به‌خوبی رفتار جامعه موتورسواران را نمایان نکند. بنابراین، برای مطالعه بیشتر بررسی خصوصیات توزیع سرفاصله‌های زمانی، داده‌های بیشتری از شرایط مختلف مورد نیاز است. همچنین، در این مطالعه تأثیر نوع هر یک از دو خودروی جلویی و تعقیب‌کننده بر سرفاصله‌های زمانی بررسی شد، شاید سرفاصله‌های زمانی، نه تنها به نوع خودروی جلویی، بلکه به انواع دو تا خودروی جلویی نیز وابسته باشد که این امر مطالعه بیشتری می‌طلبد. با توجه به اهمیت پارامتر سرفاصله‌های زمانی، از نتایج این تحقیق در بهبود مدل‌های شبیه‌سازی خرد ترافیک می‌توان استفاده کرد.

## ۶. مراجع

- Al-Ghamdi, A. S. (2005) "Analysis of time headways on urban roads: Case study from Riyadh", Jour-