



تخمین تابع توزیع سرفاصله‌ی زمانی وسایل نقلیه در تسهیلات ترافیکی مختلف شهر تهران

افشین شریعت مهیمنی، دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران،
دانشیار دانشگاه علم و صنعت¹

محمد علی آرمان، کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران،
دستیار تحقیق آزمایشگاه ترافیک دانشگاه علم و صنعت²

نوید کلانتری دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

¹ Shariat@iust.ac.ir.77240565

² Mohammadali.Arman@gmail.com.77240565

چکیده

حداقل از سال 1936 تا به حال جریان ترافیک به عنوان یک فرآیند تصادفی مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از عناصر مهم این فرآیند تصادفی سرفاصله‌ی زمانی عبور وسایل نقلیه از یک نقطه‌ی مشخص در جریان ترافیک است. تعیین تابع توزیع سرفاصله‌ی زمانی در هر نوع از تسهیلات ترافیکی توجه زیادی را در مرور ادبیات معطوف به خود نموده و از اهمیت بسیاری در مطالعات ترافیکی برخوردار است. سرفاصله‌ی زمانی مفهومی است که با حجم جریان در تسهیلات مورد مطالعه قرابت نزدیکی دارد و یکی از پارامترهای اساسی در مطالعات تئوری جریان ترافیک به شمار می‌رود. این مفهوم در ساخت هر سه مدل پایه‌ای جریان ترافیک یعنی پیروی خودرو، تغییر خط و قبول فرصت کاربرد دارد و لذا شناخت و تحلیل آن از اهمیت اساسی در مطالعات جریان ترافیک برخوردار است. مقاله‌ی پیش‌رو به مطالعه‌ی توزیع سرفاصله‌ی زمانی جریان ترافیک در انواع مختلف تسهیلات ترافیکی در شهر تهران پرداخته و توزیع آماری مناسب این پارامتر در هر یک از دسته تسهیلات مورد مطالعه را معرفی نموده است.

کلمات کلیدی: سرفاصله‌ی زمانی، تابع توزیع آماری، تئوری جریان ترافیک.

سرفاصله‌ی زمانی¹ که از این پس به اختصار سرفاصله خوانده می‌شود، فاصله‌ی زمانی عبور دو وسیله‌ی نقلیه‌ی متوالی از یک نقطه‌ی مفروض است که بر اساس سپر جلوی دو خودرو اندازه‌گیری می‌شود [1]. به این ترتیب سرفاصله برابر خواهد بود با مجموع دو زمان اشغال² و فرصت³. زمان اشغال برابر با مدت زمانی است که تمام طول یک خودرو از یک نقطه‌ی مفروض عبور می‌کند. در صورتی که خودروی $n-1$ ، خودروی پیش‌رو و خودروی n ، خودروی تعقیب کننده در نظر گرفته شود، فرصت، اختلاف زمانی گذر سپر عقب خودروی $n-1$ تا گذر سپر جلوی خودروی n از مقابل نقطه‌ی فرضی خواهد بود. در مرور ادبیات، مفهوم سرفاصله قرابت زیادی با مفهوم و اندازه‌گیری ظرفیت مقطع مورد نظر دارد [1]. سرفاصله‌ی زمانی با حجم جریان و سرفاصله‌ی مکانی با چگالی ارتباط مستقیمی دارند و در مهندسی حمل و نقل، حجم معمولاً پارامتر پر کاربردتری است. همچنین مطالعات تجربی نشان داده‌است سرفاصله‌ی مکانی به شدت تحت تاثیر تغییرات موضعی سرعت است، در حالی که سرفاصله‌ی زمانی از تاثیرپذیری کمتری در این خصوص رنج می‌برد [2].

مانورهای ترافیکی، از قبیل پیوستن⁴ و گذر⁵، به در اختیار بودن یک فرصت مناسب که خود جزئی از سرفاصله‌ی زمانی است، بستگی دارد. در نتیجه توزیع سرفاصله در جریان ترافیک اثر مستقیمی روی شکل حرکت‌های گروهی و تاخیر جریان خواهد داشت [3]. اگر چه متوسط تاخیر در تقاطعات چراغدار با چرخه‌ی ثابت، چندان به ماهیت تصادفی رسیدن وسایل نقلیه به تقاطع حساس نیست [4]، تمدید زمان سبز در تقاطعات هوشمند مستقیماً تابع توزیع رسیدن وسایل نقلیه به تقاطع یا به عبارتی سرفاصله‌ی بین خودروهای متوالی است و زمان‌بندی بهینه نیز بر اساس آن به دست می‌آید [5].

این مقاله به بررسی سرفاصله‌ی جریان در تسهیلات گوناگون ترافیکی و تعیین تابع توزیع آن در هر یک از تسهیلات پرداخته است. در ادامه در بخش دوم مرور ادبیات موضوع ارائه شده است. بخش سوم به تعیین توابع توزیع آماری در تسهیلات ترافیکی در شهر تهران اختصاص دارد و بالاخره جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در بخش چهارم بیان شده است.

¹ Time Headway

² Occupancy Time

³ gap

⁴ Merging

⁵ Crossing

2 - مرور ادبیات

حداقل از زمان آدامز¹ در سال 1936 جریان ترافیک به عنوان یک فرآیند تصادفی مورد مطالعه قرار می‌گیرد [6]. وی مسئله‌ی رسیدن وسایل نقلیه‌ی متوالی به یک خط عبور عرضی را به صورت یک فرآیند تصادفی پواسون² مدلسازی نمود و نتایج بسیار مطلوبی از اعتبار سنجی مدل خود با مشاهدات میدانی اثبات کرد. از آن زمان تا کنون مدل‌های آماری پیچیده‌تر و فراوانی با تاکید بر ماهیت تصادفی جریان ترافیک برای تخمین فرآیند رسیدن وسایل نقلیه یا به عبارتی سرفاصله‌ی آنها، ساخته شده است. ویژگی‌های سرفاصله، بخصوص طی سال‌های دهه‌ی 60 میلادی مورد مطالعات فراوانی قرار گرفت. در سال‌های اخیر و به کمک ابزارهای آماری رایانه‌ای پیشرفته‌ی بوجود آمده، بسیاری از مدل‌های پیشین مورد بازنگری یا تلفیق با یکدیگر قرار گرفته‌اند. در سال 1966 گرینبرگ⁸ توزیع سرفاصله در تئوری خردنگر جریان ترافیک را بر اساس توزیع آماری نرمال لگاریتمی⁹ توصیف نمود [7]. هیدمن¹⁰ در دو مطالعه در سال‌های 1990 و 1993 به کمک توسعه‌ی یک تحلیل آماری بر اساس شبیه‌سازی، توزیع سرفاصله را به صورت تابعی از چگالی در مقطع به دست آورد. بر خلاف روند مطالعه‌ی بکار گرفته شده توسط گرینبرگ که به بررسی سرفاصله در تئوری خردنگر جریان ترافیک پرداخت، هیدمن، ارتباط بین سرفاصله و تئوری کلان‌نگر جریان ترافیک را بررسی نمود. البته مطالعات دیگر ثابت نمود روند گرینبرگ کاربردی‌تر است و مطالعات هیدمن تا به حال چندان کاربردی نیافته و مورد توجه قرار نگرفته است. به علاوه تابع توزیع که هیدمن به دست آورد پیچیدگی زیادی داشته است [8 و 9].

در سال 1981 آکلیک¹¹ مطالعه‌ای در خصوص کاربرد انواع توزیع‌های آماری در جریان غیر منقطع انجام داد. وی گزارش نمود در وضعیت کلی توزیع آماری جریان ترافیک ممکن است تنها معرف تصادفی بودن ورود خودروها باشد، اثر دسته‌ها¹² را نشان دهد و یا معرف وجود یک عامل موثر خارجی بر جریان ترافیک باشد. بر اساس نتایج مطالعات آکلیک رایج‌ترین توزیع آماری برای سرفاصله‌ی ورود توزیع آماری نمایی بوده است [10]. مطالعات بعدی آکلیک عمدتاً متوجه بررسی عوامل ایجاد دسته‌ها و اثر دسته‌ای شدن در توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود خودروها شد [11 و 12].

¹ Adams

² Poisson Process

⁸ Greenberg

⁹ Lognormal

¹⁰ Heidemann

¹¹ Akcelik

¹² Platoons



لوتینن¹ در مطالعات خود در سالهای 1999 و 2003 گستره‌ای از انواع توزیع‌های آماری را برای هندسه‌های متنوعی از مسیر و تحت اثر وضعیت دسته‌ای شدن بررسی نموده و تفاوت‌های آماری منحنی تجمعی سرفاصله‌ی ورود را در وضعیت ساده و وضعیت دسته‌ای توضیح داده است. لوتینن نیز عمدتاً توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود را بر اساس توزیع نمایی تشریح نمود [13 و 14]. در خلال سال‌های 1997 و 1999 هوگندورن² تکنیک جدیدتری را بر مبنای تحلیل سری فوریه³ برای تخمین توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه و پارامترهای این توزیع به کار گرفت. وی توزیع پیرسون نوع سوم⁴ را برای تشریح سرفاصله‌ی ورود خودروها پیشنهاد کرد [15 و 16]. الغمدی⁵ مطالعات خود را به انواع مختلفی از تسهیلات حمل‌ونقلی گسترش داد. وی برای شریانی‌های شهری توزیع آماری گاما⁶ را پیشنهاد نمود و در خصوص آژادراه‌ها توزیع آماری ارلانگ⁷ را مناسب دانست [17].

بعضی دیگر از محققان به جای تلاش جهت یافتن مناسب‌ترین توزیع آماری و پارامترهای آن وقت خود را صرف تشخیص اثر برخی دیگر از عوامل موثر بر توزیع‌های آماری که قبلاً پیشنهاد شده‌اند، نمودند. از آن جمله می‌توان به یوبوپافان و همکاران⁸ اشاره نمود که با استفاده از ضبط ویدئویی تغییرات سرفاصله‌ی یک دسته‌ی نسبتاً ثابت از خودروها را در چند تقاطع متوالی مطالعه نمود [18]. آراسان و همکاران⁹ به اثر اندازه‌ی خودروها بر توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود آنها پرداختند [19]. بالاخره ژانگ و همکارانش¹⁰ در مطالعاتی که انجام دادند به بررسی اثر حضور وسایل نقلیه با ضریب سرنشین بالا در جریان ترافیک روی سرفاصله‌ی ورود پرداختند [20].

مرور ادبیات موضوع در ایران تنها یک نمونه مطالعه‌ی توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود را نشان می‌دهد که آن هم مربوط به شهر تهران نمی‌باشد. همچنین لازم به ذکر است مقاله‌ی پیش‌رو مستخرج از مطالعات صورت گرفته در پروژه‌ی "مطالعات کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران"، می‌باشد.

¹ Luttinen

² Hoogendoorn

³ Fourier-Series Analysis

⁴ Pearson Type III

⁵ Al-Ghamdi

⁶ Gamma

⁷ Erlang

⁸ Pueboobpaphan et al.

⁹ Arasan et al.

¹⁰ Zhang et al.



3- تعیین توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در تسهیلات ترافیکی شهر تهران

به منظور تعیین توزیع آماری مناسب برای سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در معابر شهر تهران، سه دسته تسهیلات تقاطعات بدون چراغ، شریانی‌ها و بزرگراه‌ها در نظر گرفته شدند. دو تقاطع مخبری-شانزده متری و بلوار دریا-مطهری به عنوان نمونه‌های مطالعه‌ی سرفاصله‌ی ورود در تقاطعات بدون چراغ، دو خیابان شریعتی و سی متری نیروی هوایی به عنوان شریانی شهری و دو بزرگراه نیایش و مدرس به عنوان مقاطع بزرگراهی مورد آماربرداری و تحلیل آماری قرار گرفتند.

دو شکل (1) و (2) به ترتیب منحنی توزیع تجمعی تجربی و بهترین توزیع آماری متناسب با سرفاصله‌های ورود برای دو تقاطع بدون چراغ مخبری-شانزده متری و بلوار دریا-مطهری و نشان می‌دهند. استفاده از نرم‌افزارهای آماری در تخمین توابع توزیع آماری برای ورودی تقاطعات چراغدار نشان می‌دهد، الگوی سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در این تسهیلات در شهر تهران از توزیع آماری حد نهایی تعمیم یافته¹ پیروی می‌کند. جدول (1) پارامترهای این توزیع آماری را نشان داده و جدول‌های (2) و (3) نتایج آزمون‌های آماری در صحت منحنی انتخاب شده را نشان می‌دهند.

جدول 1: ویژگی‌ها و پارامترهای توزیع آماری جهت سرفاصله ورود در تقاطعات بدون چراغ

محل مورد مطالعه	توزیع آماری	k	σ	μ	امید ریاضی	انحراف معیار	چولگی
مخبری-شانزده متری	GEV	0,3	1,18	2,35	3,52	2,85	-12,74
بلوار دریا-مطهری	GEV	0,4	1,55	2,23	4,13	6,09	-

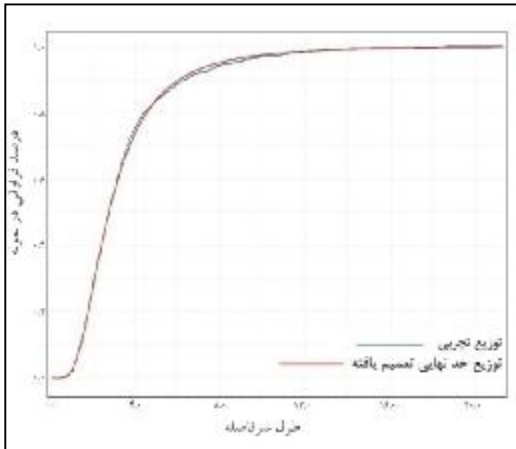
جدول 2: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در تقاطعات بدون چراغ

محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری $(\alpha) = 0,05$
مخبری-شانزده متری	0,04	0,45	قبول
بلوار دریا-مطهری	0,02	0,82	قبول

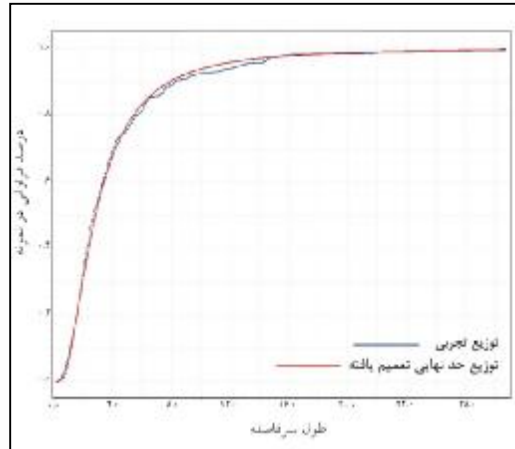
جدول 3: نتایج آزمون مربع کای در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در تقاطعات بدون چراغ

محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری $(\alpha) = 0,05$
مخبری-شانزده متری	11,89	0,15	قبول
بلوار دریا-مطهری	6,66	0,67	قبول

¹ Generalized Extreme Value



شکل 2: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در تقاطع بدون چراغ بلوار دریا-مطهری



شکل 1: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در تقاطع بدون چراغ مخبری-شانزده متری

یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در آمار استنباطی، آزمون فرض‌های آماری است که در تصمیم‌گیری بسیار حائز اهمیت است. یکی از مسائل موجود در آزمون فرض ارائه‌ی یک معیار برای پذیرفتن و یا رد کردن فرض است. یکی از معیارهایی که جهت انجام آزمون فرض معرفی شده است، مقدار p است. فرض آماری ادعایی در مورد نمونه‌ی مورد بررسی است که ممکن است درست یا نادرست باشد. به عبارت دیگر فرض آماری یک ادعا پیرامون توزیع یک جمعیت یا پارامتر توزیع یک متغیر تصادفی است. برای بررسی یک فرض آماری یک آزمایش تصادفی انجام می‌شود (جمع آوری داده‌ها)، اگر نتیجه آزمایش تفاوت «معنی داری» با آنچه که انتظار می‌رود، داشته باشد، وقتی که فرض مورد نظر صحیح فرض شده است، فرض رد می‌شود و در غیر این صورت فرض پذیرفته می‌شود. در اینجا فرض صفر پیروی اطلاعات سرفاصله‌ی برداشت شده از توزیع آماری پیشنهادی است. هر اندازه مقدار p بزرگ‌تر باشد فرض آماری را می‌توان در سطح اطمینان بزرگ‌تری پذیرفت. به عبارت دیگر اطمینان بیشتری وجود دارد که توزیع آماری تخمین زده شده از داده‌های برداشت شده با توزیع آماری که به این داده‌ها نسبت داده شده است مطابقت دارد. مقدار p بر اساس آزمون آماری مورد نظر محاسبه می‌شود (در این مقاله آزمون‌های مربع کای و کولموگروف-اسمیرنوف). سپس قبول یا رد فرض صفر بر اساس مقایسه‌ی این مقدار با مقدار بحرانی در سطح معنی داری مورد نظر (α) کنترل می‌شود. فرض صفر برای تمامی مقادیر بحرانی کوچک‌تر از مقدار p قبول و برای مقادیر بزرگ‌تر رد می‌شود. نتایج آزمون‌های آماری نشان می‌دهند که در هر دو موقعیت مورد نظر توزیع حد نهایی تصمیم یافته برای توصیف سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در تقاطعات بدون چراغ قابل قبول بوده و توزیع آماری مذکور تا حد زیادی توصیف‌کننده‌ی پارامتر مورد نظر است.





توزیع حد نهایی تعمیم یافته در نظریه احتمال و آمار از خانواده توزیع‌های پیوسته است. این توزیع بر اساس نظریه‌ی مقدار حدی و از ترکیب توزیع‌های گامبل¹، فریشه² و وایبل³ ساخته شده است. نظریه مقدار حدی برای مدل کردن بیشترین و یا کمترین مقدار تعدادی از داده‌های تصادفی به کار می‌رود. بطور کل سه نوع مقدار حدی وجود دارد که توزیع حد نهایی تعمیم یافته، هر سه گروه را در بر می‌گیرد. این توزیع دارای سه پارامتر مکان μ ، مقیاس σ و شکل k است. زمانی که $k < 0$ باشد، آنگاه توزیع معادل مقدار حدی نوع سوم است. وقتی که $0 < k$ باشد توزیع معادل مقدار حدی نوع دوم است، وقتی مقدار k به سمت صفر میل می‌کند توزیع به مقدار حدی نوع اول میل می‌کند. تابع تجمعی این توزیع به صورت رابطه‌ی (1) نوشته می‌شود:

$$F(x; m, s, k) = e^{-\left[1+k\left(\frac{x-m}{s}\right)\right]^{-1/k}} \quad (1)$$

که تمامی پارامترهای این رابطه پیش از این تعریف شده‌اند. تابع چگالی این توزیع نیز از رابطه‌ی (2) محاسبه می‌شود:

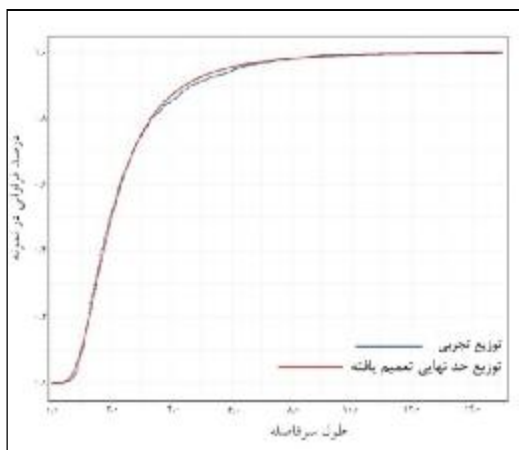
$$f(x; m, s, k) = \frac{1}{s} \left[1+k\left(\frac{x-m}{s}\right)\right]^{(-1/k)-1} \times e^{-\left[1+k\left(\frac{x-m}{s}\right)\right]^{-1/k}} \quad (2)$$

دو شکل (3) و (4) به ترتیب منحنی توزیع تجمعی تجربی و بهترین توزیع آماری متناسب با سرفاصله‌های ورود برای دو معبر شریانی خیابان شریعتی و خیابان سی متری نیروی هوایی را نشان می‌دهند. پس از بررسی و محاسبات آماری، الگوی سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در این تسهیلات در شهر تهران مانند تقاطعات بدون چراغ، از توزیع آماری حد نهایی تعمیم یافته پیروی می‌کند. جدول شماره (4) پارامترهای این توزیع آماری را نشان داده و جدول‌های (5) و (6) نتایج آزمون‌های آماری در صحت منحنی انتخاب شده را نشان می‌دهند.

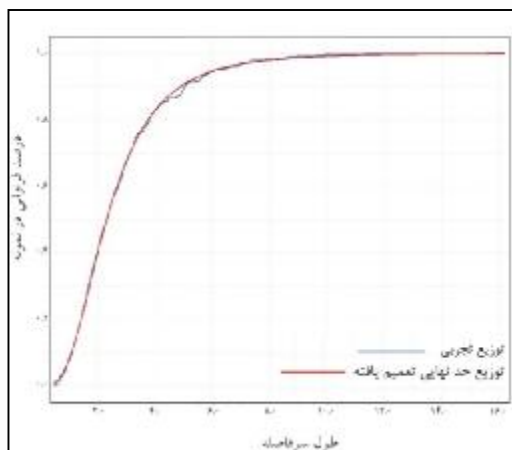
¹ Gumbel

² Frechet

³ Weibull



شکل 4: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در خیابان
سی‌متری نیروی هوایی



شکل 3: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در خیابان
شریعتی

جدول 4: ویژگی‌ها و پارامترهای توزیع آماری جهت سرفاصله ورود در معابر شریعتی

محل مورد مطالعه	توزیع آماری	k	σ	μ	امید ریاضی	انحراف معیار	چولگی
شریعتی	GEV	0,28	0,89	1,67	2,53	2,04	-9,09
نیروی هوایی	GEV	0,19	1,07	1,91	2,77	1,89	-3,22

جدول 5: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در معابر شریعتی

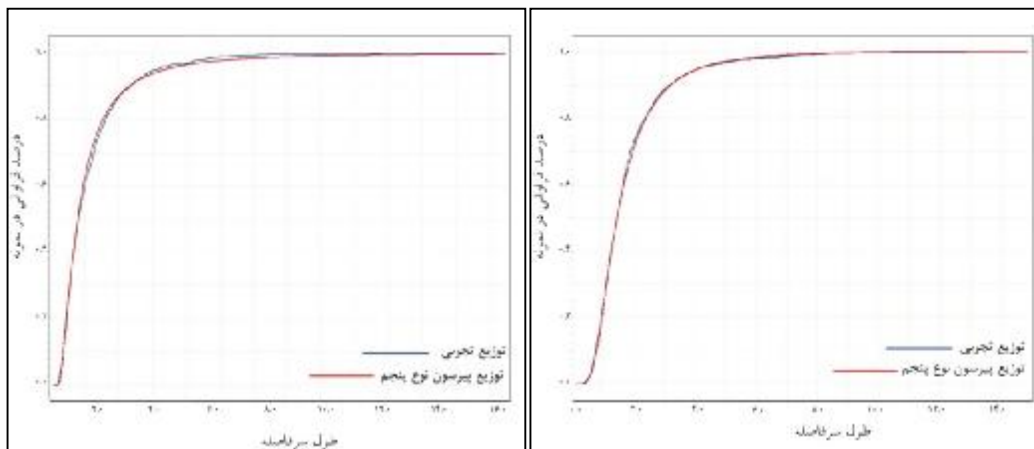
محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری ($\alpha = 0,05$)
شریعتی	0,02	0,90	قبول
نیروی هوایی	0,03	0,25	قبول

جدول 6: نتایج آزمون مربع کای در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در معابر شریعتی

محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری ($\alpha = 0,05$)
شریعتی	4,38	0,82	قبول
نیروی هوایی	13,99	0,17	قبول

نتایج آزمون‌های آماری نشان می‌دهند که در هر دو موقعیت مورد نظر توزیع حد نهایی تعمیم یافته برای توصیف سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در معابر شریعتی، قابل قبول بوده و توزیع آماری مذکور تا حد زیادی توصیف‌کننده‌ی پارامتر مورد نظر است. در مورد مقاطع بزرگراهی نیز همانند دو نوع تسهیلات قبلی محاسبات و تحلیل آماری صورت گرفته

است که نتایج این محاسبات در قالب دو شکل (5) و (6) به ترتیب منحنی توزیع تجمعی سرفاصله‌های ورود برای دو معبر بزرگراهی مدرس و نیایش نشان ارائه شده‌اند.



شکل 5: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در بزرگراه مدرس شکل 6: منحنی تجمعی سرفاصله ورود در بزرگراه نیایش

پس از بررسی و محاسبات آماری، مشخص شد، الگوی سرفاصله‌ی ورود وسایل نقلیه در این تسهیلات در شهر تهران، از توزیع آماری پیرسون نوع پنجم پیروی می‌کند. جدول شماره (7) پارامترهای این توزیع آماری را نشان داده و جدول‌های (8) و (9) نتایج آزمون‌های آماری در صحت منحنی انتخاب شده را نشان می‌دهند.

جدول 7: ویژگی‌ها و پارامترهای توزیع آماری جهت سرفاصله ورود در معابر بزرگراهی

محل مورد مطالعه	توزیع آماری	α	β	امید ریاضی	انحراف معیار	چولگی
مدرس	Pearson V	2,22	2,98	2,44	5,24	-
نیایش	Pearson V	3,71	5,03	1,85	1,42	7,37

جدول 8: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در معابر بزرگراهی

محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری $(\alpha) = 0,05$
مدرس	0,04	0,07	قبول
نیایش	0,03	0,16	قبول



جدول 9. نتایج آزمون مربع کای در انتخاب توزیع آماری سرفاصله ورود در معابر بزرگراهی

محل مورد مطالعه	نتیجه آزمون	p-Value	سطح معنی داری ($\alpha = 0,05$)
مدرس	14,89	0,09	قبول
نیایش	11,32	0,11	قبول

مجموعه توابع احتمال انتخاب پیرسون در فاصله زمانی سال‌های 1895 تا 1916 و توسط کارل پیرسون¹ معرفی شده‌اند. نوع پنجم این تابع احتمال در بیان زمان وقوع یک رخداد تصادفی یا انجام یک عمل در یک پروسه‌ی غیر قطعی کاربرد دارد. این توزیع احتمالاتی خود دارای دو نوع دو و سه متغیره است که در این مطالعه گونه‌ی دو متغیره‌ی آن مناسب جهت توصیف سرفاصله‌ی ورود خودروها در بزرگراه‌های تهران تشخیص داده شد. دو رابطه‌ی (3) و (4) به ترتیب تابع تجمعی و تابع چگالی این توزیع آماری را نشان می‌دهند:

$$F(x; a, b) = 1 - \frac{\Gamma_{b/x}(a)}{\Gamma(a)} \quad (3)$$

$$f(x; a, b) = \frac{e^{-b/x}}{b \Gamma(a) (x/b)^{a+1}} \quad (4)$$

در این رابطه دو پارامتر α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس و مقادیری مثبت هستند. Γ نیز معرف تابع گاما است که به صورت رابطه‌ی (5) تعریف می‌شود.

$$\Gamma(x) = \frac{1}{x} \prod_{n=1}^{\infty} \left[\left(1 + \frac{1}{n}\right)^x \left(1 + \frac{x}{n}\right)^{-1} \right] \quad (5)$$

4 - نتیجه گیری

تلاش جهت تعیین تابع توزیع آماری سرفاصله‌ی عبور وسایل نقلیه در تسهیلات ترافیکی گوناگون در شهر تهران نتایجی را دربر داشت که در ذیل به صورت لیست‌وار ارائه شده‌اند:

- همان‌گونه که مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند ورود وسایل نقلیه در تسهیلات ترافیکی یک فرایند تصادفی است، لذا توزیع‌های آماری که بیشتر جنبه‌ی شبیه‌سازی رفتار تصادفی را دارند برای آن مناسب‌ترند.

¹ Karl Pearson

- 2- تابع توزیع آماری ورود وسایل نقلیه در تقاطعات بدون چراغ و شریانی‌ها مشابه یکدیگر و از نوع توزیع حد نهایی تعمیم یافته و در آزادراه‌ها مطابق پیرسون نوع پنجم بود.
- 3- تشابه توزیع آماری سرفاصله‌ی ورود در تقاطعات بدون چراغ و شریانی‌ها و اختلاف آن با توزیع ورود وسایل نقلیه در آزادراه‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت ماهیت جریان در آنها در نتیجه‌ی تفاوت در سلسله مراتب کاربردی این تسهیلات باشد.
- 4- به عنوان پیشنهادی در جهت توسعه‌ی مطالعات آتی می‌توان علاوه بر در نظر گرفتن تسهیلات گوناگون، مطالعه را به شرایط ترافیکی مختلف از قبیل وضعیت اشباع و غیر اشباع و در نظر گرفت اثر شرایط جوی و بارش‌ها روی توزیع سرفاصله نیز گسترش داد.



- 1- Brilon W., Wu N., (1999), "Capacity at unsignalized two-stage priority intersections", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33 (3-4) , pp. 275-289.
- 2- HCM (2010). *Highway capacity manual, SR 209*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- 3- Joewono Prasetijo, Mehdi Hossein Pour, Seyed Mohammad Reza Ghadiri, (2011), "Capacity of Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 16, Pages 676-685.
- 4- Liu H.X., Wu X., Ma W., Hu H., (2009), "Real-time queue length estimation for congested signalized intersections", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17 (4) , pp. 412-427.
- 5- Shuai Yang, Edward Chung, (2012), "Driver Response Time of Queuing Vehicles at Urban Signalized Intersections", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 43, Pages 169-177.
- 6- Adams, W. F. (1936), 'Road traffic considered as a random series', *Journal of the Institution of Civil Engineers* 4(1), 121-130.
- 7- Greenberg, I. (1966), 'The log-normal distribution of headways', *Australian Road Research* 2(7), 14-18.
- 8- Heidemann, D. (1990), A theoretical model to calculate time-headway distributions as a function of traffic density, in M. Koshi, ed., 'Transportation and Traffic Theory', *Proceedings of the Eleventh International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, held July 18-20, 1990, in Yokohama, Japan, Elsevier, New York, pp. 1-17.
- 9- Heidemann, D. (1993), A theoretical model for distributions of speeds and time-headways on two-lane roads, in C. F. Daganzo, ed., 'Transportation and Traffic Theory', *Proceedings of the 12th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Berkeley, California, USA, 21-23 July, 1993, Elsevier, Amsterdam, pp. 523-537
- 10- Akcelik, R. (1981). *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. Australian Road Research Board Research Report ARR No. 123 (5th reprint: 1993).
- 11- Akcelik, R. and TROUTBECK, R. (1991). Implementation of the Australian roundabout analysis method in SIDRA. In: U. Brannolte (ed.) *Highway Capacity and Level of Service*, Proc. of the International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 17-34.
- 12- Akcelik, R. & Chung, E. (1994), 'Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways', *Road & Transport Research* 3(1), 42- 59.
- 13- Luttinen, R.T. (1999). Properties of Cowan's M3 headway distribution. *Transportation Research Record* 1678, pp 189-196.
- 14- Luttinen, R.T. (2003). Capacity of Unsignalised Intersections. *TL Research Report No. 3*. TL Consulting Engineers, Lahti, Finland.
- 15- Serge P. Hoogendoorn and Hein Botma, (1997), "Modeling and Estimation of Headway Distributions", *Transportation Research Record: Journal of the*



- Transportation Research Board, No.1591, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- 16- Serge P. Hoogendoorn and Piet H. L. Bovy, (1998), "New Estimation Technique for Vehicle-Type-Specific Headway Distributions", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1646, TRB, National Research Council, Washington D.C.
 - 17- Ali S. Al-Ghamdi, (2001), "Analysis of TimeHeadways on Urban Roads: Case Study from Riyadh", Journal of Transportation Engineering: Journal of the American Society of Civil Engineering, ASCE.
 - 18- Rattaphol Pueboobpaphan and Dongjoo Park, (2003), "Characteristics of Probe Vehicles' TimeHeadway", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, EASTS,.
 - 19- V. Thamizh Arasan and R. Z. Koshy, (2003), "Headway Distribution of Heterogeneous Traffic on Urban Arterials", IE (I) Journal-CV, Vol. 84.
 - 20- Guohui Zhang, Yinhai Wang, Heng Wei, and Yanyan Chen, (2007), "Examining Headway Distribution Models Using Urban Freeway Loop Event Data, TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM, TRB, National Research Council, Washington D.C.



Estimation of Time Headway Distribution Function for Different Traffic Facilities of Tehran

Afshin Shariat Mohaymany, PhD in Transportation Engineering, Civil
Department, IUST

Mohammad Ali Arman, MSc in Transportation Engineering, Civil
Department, IUST

Navid Kalantari, PhD in Transportation Engineering, Civil
Department, IUST

Abstract

At least since 1936 traffic flow has been studied as a stochastic process. Time headway is considered as one of the most important elements in this process. Time headway is studied by its distribution function and was widely taken into consideration in the literature. Moreover time headway directly relates to traffic volume. This parameter has a vital role in all three fundamental traffic models namely, car following, lane changing and gap acceptance, consequently its recognition and modeling is fundamental in traffic flow theory.

This paper studies time headway in different traffic facilities of Tehran and proposes suitable distribution functions for each facility.