بررسی عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوس‌ها در ایستگاهها و پیش‌بینی آن در سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی شهر تهران

محمدرضا امین‌ناصری*، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
وحید برادران، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail:amin_nas@modares.ac.ir
دریافت: ۱۳۸۸/۰٤/۰۵ – پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۸

چکیده

زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها، یکي از پارامترهاي تأثیرگذار بر کیفیت برنامه‌ریزي حمل و نقل در سیستم اتوبوسراني است. شناسایي عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوسها و پیش‌بیني دقیق آن علاوه بر ارایه برنامه‌هاي دقیق تر، منجر به ارایه سیاستهاي مناسبي براي کاهش زمان توقف و افزایش رضایت مسافران سوار بر وسیله نقلیه و منتظر در ایستگاه‌ها مي‌شود. در این مقاله، با مطالعه سیستم اتوبوسراني شهر تهران، عوامل بالقوه موثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاه‌ها شناسایي شده و با استفاده از تحلیل رگرسیوني، تأثیر بخشي از عوامل شناسایي شده مانند تعداد مسافران سوار و پیاده شده، بر زمان توقف اندازه‌گیري شده است. برازش توابع مختلف بر داده‌هاي جمع‌آوري شده از سیستم اتوبوسراني شهر تهران، تابع غیرخطي از تعداد مسافران سوار و پیاده شده، بدون درنظر گرفتن جنسیت مسافر و دري که از آن پیاده یا سوار مي‌شوند را به عنوان مناسب ترین تابع براي پیش‌بیني زمان توقف با ضریب تعیین ۸۷/۹ درصد نتیجه داده است. همچنین بررسي میکروسکوپي فرآیند توقف و تحلیل آماري پارامترهاي موثر بر آن مانند زمان و تعداد مسافران سوار و پیاده شده منجر به توسعه مدل شبیه‌سازي گسسته پیشامدي از فرایند توقف اتوبوسها در ایستگاهها شده است. از مدل شبیه‌سازي طراحي شده براي بررسي تأثیر سیاستها و عوامل دیگري که امکان مطالعه آنها بر اساس داده‌هاي جمع‌اوري شده نیست، از قبیل نحوه پرداخت کرایه بر زمان توقف استفاده شده است. تحلیل‌ها نشان مي‌دهد تغییر در نحوه پرداخت کرایه از سیستم بلیت کاغذي به پرداخت الکترونیکي حدود ۲۳ درصد زمان توقف اتوبوسها را در ایستگاهها کاهش مي‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زمان توقف، سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی، شبیه‌سازی گسسته پیشامد، تحلیل رگرسیونی

۱. مقدمه

توسعه حمل و نقل عمومی به عنوان مناسب‌ترین راهکار برای حل مشکلات حمل و نقل درون شهری مانند ازدحام، شلوغی، آلودگی هوا و مصرف زیاد فرآورده‌های نفتی است. از میان سیستم‌های حمل و نقل عمومی، سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی به علت هزینه‌های کم راه‌اندازی و انعطاف‌پذیری زیاد در جابجایی مسافران، نسبت به سایر سیستم‌های حمل و نقل عمومی از دیدگاه برنامه‌ریزان حمل و نقل شهری اهمیت بیشتری در کاهش مشکلات شهری دارد. برنامه‌ریزی و زمان‌بندی سفر و وسایل نقلیه در سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی، علاوه بر افزایش استفاده بهینه از تجهیزات موجود و کاهش هزینه‌های سیستم، نقش موثری در افزایش رضایت استفاده‌کنندگان و نهایتاً افزایش تعداد مسافران سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی دارد.

زمان سفر و زمان توقف وسایل نقلیه در ایستگاهها به عنوان دو پارامتر مهم زمان‌بندی و اطلاع رسانی به مسافران محسوب می‌شود. برآورد نادرست این دو پارامتر باعث می‌شود برنامه‌ها و زمان‌بندی‌های اعلام شده از طریق سیستم‌های حمل و نقل هوشمند[1] به مسافران، غیر واقعی باشد که پیامد آن علاوه بر افزایش هزینه‌های موسسات حمل و نقل عمومی، می‌تواند باعث کاهش اطمینان مسافران نسبت به این نوع سیستم‌ها شود که این امر نهایتاً، کاهش کیفیت خدمات ارایه شده به مسافران را به

*نویسنده مسئول

دنبال خواهد داشت [Zaho and Li,2005 Lin, (et al.),1995، Bertini and El-Geneidy- ،Aashtiani and Iravani-2002 2004].

بررسی زمان توقف اتوبوسها از دو جنبه قابل بررسی است. اولاً شناسایی عوامل موثر بر زمان توقف وسایل نقلیه در ایستگاهها، برنامه‌ریزان سیستم اتوبوسرانی را در ارایه راهکارهای کاهش زمان توقف وسیله نقلیه در ایستگاهها یاری خواهد کرد. افزایش راندمان استفاده از وسایل نقلیه موجود و کاهش زمانهای انتظار مسافران سوار بر وسیله نقلیه در ایستگاهها از پیامدهای کاهش زمان توقف است. ثانیاً برآورد دقیق زمان توقف وسایل نقلیه در ایستگاهها در تنظیم دقیق جداول زمانی سفر و اعلام دقیق آن به مسافران منتظر در ایستگاهها نقش موثری خواهد داشت.

تحقیقات گذشته نشان می‌دهد پنج عامل، تعداد مسافران سوار و پیاده شده، فضای ایستگاه اتوبوس، سیستم پرداخت کرایه، نوع وسیله نقلیه و نحوه چرخش افراد داخل وسیله (نحوه سوار و پیاده شدن مسافران) بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها مؤثر است [Zaho and Li, 2005]. مطالعه میزان تأثیر هر یک از این عوامل بر زمان توقف اتوبوسها در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران به علت ویژگی‌های خاص این سیستم مانند مشخصات وسیله نقلیه و یا تفکیک مسافران زن و مرد، از سایر مطالعات انجام شده در این زمینه منفک خواهد بود. در این پژوهش علاوه بر ارایه مدلهایی برای پیش‌بینی دقیق زمان توقف بر اساس عوامل موثر بر آن در ایستگاههای سیستم اتوبوسرانی شهر تهران، راهکارهایی برای کاهش زمان توقف و زمانهای انتظار مسافران سوار بر وسیله و منتظر در ایستگاهها ارایه شده است.

در این مقاله، با مطالعه میکروسکوپی فرآیند توقف اتوبوسها در ایستگاه‌های سیستم اتوبوسرانی شهر تهران، داده‌های بخشی از متغیرهای بالقوه تأثیرگذار بر زمان توقف مانند تعداد مسافران سوار و پیاده شده، فضای ایستگاه و زمان رخداد توقف، جمع‌آوری شده و با استفاده از تحلیل رگرسیونی میزان تأثیر این چند عامل بر زمان توقف بررسی شده است. همچنین با استفاده از ادبیات موضوع، روابط مختلفی بر داده‌های جمع‌آوری شده برازش شده و بر اساس ارزیابی دقت روابط موجود، مناسب‌ترین رابطه برای پیش‌بینی زمان توقف در سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران پیشنهاد شده است.

با توجه به اینکه بررسی تأثیر سایر عوامل بالقوه موثر بر زمان توقف به دلیل محدودیتهای موجود در جمع‌آوری داده‌ها از طریق تحلیل رگرسیونی امکان‌پذیر نیست، از تحلیل شبیه‌سازی استفاده شده است. با مطالعه دقیق رویدادهای فرآیند توقف و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده از سیستم اتوبوسرانی شهر تهران پیرامون متغیرهای رویداد توقف مانند طول زمانی سوار و پیاده شدن مسافران، تعداد مسافران سوار و پیاده شده و ...، مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی گسسته پیشامد با استفاده از نرم افزار ED[۲] طراحی و اجراء شده است. پس از بررسی صحت و دقت مدل شبیه‌سازی، سناریوهای مختلفی برای اندازه‌گیری تأثیر عوامل موثر بر زمان توقف و سیاستهای کاهش زمان توقف طرح‌ریزی شده و با اجرای مدل شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف، میزان تأثیر هر یک از آنها بر زمان توقف اندازه‌گیری شده است.

بخش دوم این مقاله به مرور ادبیات موضوع و معرفی روابط پیش‌بینی زمان توقف اختصاص یافته است. در بخش سوم به معرفی سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی شهر تهران و نوع داده‌های گردآوری شده پرداخته شده است. تحلیل آماری داده‌ها و توسعه روابط پیش‌بینی زمان توقف در ایستگاه‌ها در بخش چهارم ارایه شده است. مدل شبیه‌سازی طراحی شده به همراه نتایج ارزیابی سناریوهای مختلف در بخش پنجم بیان شده است و بخش پایانی، مربوط به نتایج و جمع‌بندی تحقیق است.

۲. مرور ادبیات موضوع

در ادبیات برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل و نقل اتوبوسرانی، زمان توقف[۳]، مدت زمان بیکاری وسیله نقلیه در هر ایستگاه برای سوار و پیاده کردن مسافران بر حسب ثانیه تعریف شده است [Zaho and Li, 2005] که شامل زمان سوار و پیاده شدن مسافران و باز و بسته کردن درها است [Highway Capacity Manual, 2000]. هر چند به دلیل هزینه‌های نسبتاً زیاد جمع‌آوری اطلاعات، مطالعات چندانی پیرامون زمان توقف انجام نشده [Zaho and Li, 2005 و Dueker, Kimpel and Strathman, 2004] ، اما تعدادی از پژوهشگران در گذشته مطالعاتی پیرامون عوامل موثر بر زمان توقف انجام داده‌اند. در بیشتر این مطالعات، تأثیر تعداد مسافران سوار و پیاده شده در هر ایستگاه بر پارامتر زمان توقف بررسی شده است، اما تعدادی از پژوهشگران علاوه بر بررسی اثر این عامل، اثر عاملهای دیگر را نیز بر زمان توقف مطالعه کرده‌اند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

کرفت و برگِن (۱۹۷٤) [Kraft and Bergen, 1974] با مطالعه زمان توقف، مدت زمان سوار شدن مسافران را بیشتر از مدت

زمان پیاده شدن آنها اندازه‌گیری کردند، بنابراین آنها زمان توقف را تنها تابع تعداد مسافران سوار شده در هر ایستگاه می‌دانند. آنها زمان سوار شدن هر مسافر را برابر ٤/٥ ثانیه برآورد کردند و کل زمان توقف وسیله نقلیه را معادل مجموع زمان سوار شدن مسافران به علاوه ٢ ثانیه محاسبه کردند.

گیوندِنر و سینا (١٩٨٣) [Guenthner and Sinha, 1983] با مطالعه زمان توقف در ایستگاه‌ها در شهرهای میلواکی[٤] و لافایت[٥] دریافتند که زمان توقف به تعداد مسافران سوار و پیاده شده در هر ایستگاه بستگی دارد. آنها یک فاصله زمانی ثابت ١٠ الی ٢٠ ثانیه‌ای برای هر توقف و یک فاصله زمانی ٣ الی ٥ ثانیه‌ای برای هر مسافر سوار و پیاده شده در رابطه برآورد زمان توقف وسیله در ایستگاه پیشنهاد کردند. همچنین آنها رابطه بین میانگین زمان توقف برای هر مسافر (ε) و تعداد کل مسافران سوار و پیاده شده را به صورت رابطه ١ تعریف کردند که در آن، Z معرف تعداد کل مسافران سوار و پیاده شده در یک ایستگاه است.

$$\varepsilon = 5.0 - 1.2[\ln(z)] \qquad (١)$$

تحقیقات آنها نشان داد تعداد مسافران سوار و پیاده شده در هر ایستگاه زمانی که تعداد آنها کم باشد، از توزیع پواسون و در شرایطی که تعداد مسافر زیاد باشد از توزیع دوجمله‌ای منفی پیروی می‌کند.

لِوینسون [Levinson, 1983] در رابطه پیشنهادی برای محاسبه زمان توقف، زمان ٢/٧٥ ثانیه را برای هر مسافر سوار و یا پیاده شده و مقدار ٥ ثانیه را به عنوان مقدار ثابت به ازای توقف وسیله پیشنهاد کرد.

سِنِرویریتن و همکاران [Seneviratne, Tam and Javid, 1989] توزیع آماری زمان توقف را مورد مطالعه قرار دادند. تحقیقات آنها نشان داد توزیع گاما نسبت به توزیع نرمال و نرمال لگاریتمی بر داده‌های زمان توقف برازنده‌تر است.

در اوایل دهه ١٩٩٠، اثر متغیرهای دیگری علاوه بر تعداد مسافران بر زمان توقف مانند تعداد درهای وسیله نقلیه، نوع سیستم پرداخت کرایه[٦] ، مکان وسیله نقلیه، سرعت آن و ... بر زمان توقف بررسی شد. مارشال و همکاران [Marshall (et al.), 1990] شش مدل رگرسیونی (چهار مدل خطی و دو مدل نمایی) برای تشریح رابطه بین زمان توقف و تعداد مسافران سوار و پیاده شده، نحوه پرداخت کرایه (اسکناس و سکه‌ای) و میزان تأخیر وسیله نقلیه در ورود به ایستگاه را بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که مدلهای رگرسیون نمایی، برای پیش‌بینی زمان توقف مناسب تر هستند.

در کتاب راهنمای ظرفیت معابر[٧] [Highway Capacity Manual, 2000] رابطه زیر برای محاسبه زمان توقف پیشنهاد شده است:

$$Dwell\ Time = t_{op} + (P_a)(t_a) + (P_b)(t_b) \qquad (٢)$$

در رابطه٢، $Dwell\ Time$ معرف زمان توقف بر حسب ثانیه، t_{op} زمان باز و بسته کردن درها، P_a تعداد مسافران پیاده شده از شلوغ‌ترین در، t_a متوسط زمان پیاده شدن یک مسافر، P_b تعداد مسافران سوار شده از شلوغ ترین در، t_b زمان سوار شدن یک مسافر است.

آشتیانی و ایروانی [Aashtiani and Iravani, 2002] با جمع‌آوری داده از سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران، رابطه زمان توقف در ایستگاههای اتوبوس را برای چهار نوع مختلف وسایل نقلیه با تعداد مسافران سوار و پیاده شده و ضریب بار وسیله نقلیه مورد مطالعه قرار دادند. آنها ٧ مدل مختلف خطی و غیرخطی را برای تعیین رابطه بین زمان توقف اتوبوس‌ها در یک ایستگاه و متغیرهای موثر بر آن بررسی کردند و نشان دادند رابطه ٣ ، عملکرد مناسب تری نسبت به سایر مدلهای پیشنهادی دارد.

$$Dwell\ Time = \beta_0 B1 + [\beta_1 I^{\beta_{01}} + \beta_2 (2/ND)^{0.5} O^{\beta_{02}}] * (1 + \beta_3 Lf^{\beta_{03}}) \qquad (٣)$$

در این رابطه، $Dwell\ Time$ زمان توقف بر حسب ثانیه را نشان می‌دهد و $B1$ یک متغیر صفر و یک است، این متغیر زمانی مقدار یک را می‌پذیرد که در توقف، حداقل یک نفر سوار یا پیاده شود. I و O به ترتیب معرف تعداد مسافران سوار شده و پیاده شده در ایستگاه است. ND تعداد درهای وسیله نقلیه را نشان می‌دهد و Lf بیانگر ضریب بار است که از نسبت مسافران داخل وسیله نقلیه قبل از توقف به ظرفیت وسیله نقلیه محاسبه می‌شود. ضریب تعیین(R^2) مدل ٣ برای اتوبوسهای استاندارد (٣ در) و معمول در سیستم حمل و نقل شهر تهران برابر ٦٠ درصد برآورد شده است.

راج‌بهاندَری و همکاران [Rajbhandari, Chien and Daniel, 2003] از رگرسیون چندگانه برای تولید چهار مدل برای زمان توقف به عنوان تابعی از تعداد مسافران سوار و پیاده شده و تعداد مسافران ایستاده استفاده کردند و بر خلاف دیگران نشان دادند زمان توقف، یک رابطه غیر خطی با تعداد مسافران به صورت زیر دارد:

$$Dwell\ Time = a + b(Total) + c(Total)(S) \qquad (٤)$$

در این رابطه $Dwell\ Time$ زمان توقف بر حسب ثانیه، $Total$

بیان کننده تعداد کل مسافران سوار و پیاده شده در ایستگاه و S تعداد مسافران ایستاده است. در رابطه ٤ مقادیر a، b و c نیز پارامترهای مدل رگرسیونی هستند.

در کتاب ظرفیت سیستمهای حمل و نقل و کیفیت خدمات[8] [Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003] تأثیر ظرفیت وسیله نقلیه و برنامه‌ریزی خدمات بر زمان توقف مطالعه شده است. در این مرجع زمان سرویس‌دهی به هر مسافر زمانی که از کارت‌های هوشمند استفاده شود ٣/٤ ثانیه و زمانی که بلیت مغناطیسی استفاده شود برابر ٤/٢ ثانیه برآورد شده است.

دوکِر و همکاران [Dueker, Kimpel and Strathman, 2004] نیز با داده هایی که به کمک سیستم‌های هوشمند حمل و نقل از سیستم حمل و نقل شهر پُرتلند[9] از شهرهای ایالت اُرگون[10] در آمریکا جمع‌آوری شده بود، رابطه زمان توقف در ایستگاهها را با متغیرهایی مانند تعداد مسافران سوار و پیاده شده، زمانی از روز که وسیله در ایستگاه توقف کرده است، مدت زمانی که وسیله از برنامه زمان‌بندی جلو یا عقب است، نوع مسیر با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه غیر خطی درجه دوم بررسی کردند. آنها نشان دادند هر مسافری که سوار می‌شود ٣/٤٨ ثانیه و هر مسافری که پیاده می‌شود معادل ١/٧ ثانیه به مقدار ثابت زمان توقف (٥/١٤ ثانیه) اضافه می‌کند. مطالعه ایشان نشان می‌دهد متغیرهای دیگر در نظر گرفته شده بجز زمان روز و نوع مسیر تاثیر چندانی بر زمان توقف ندارند.

برتینی و الجنیدی [Bertini and El-Geneidy, 2004] با مطالعه ٤٥٢ نمونه (توقف) از مسیرهای اتوبوسرانی شهر پُرتلند رابطه بین زمان توقف و تعداد مسافر پیاده شده و سوار شده را به صورت زیر پیشنهاد کردند:

$$DwellTime = 5.8 + 0.85N_a + 3.6N_b \qquad (٥)$$

که در آن N_a و N_b به ترتیب تعداد مسافران پیاده و سوار شده است. مطالعه آنها همچنین نشان داد طول زمانی توقف در ساعات اوج تقاضا بیشتر از ساعات دیگر روز است و زمان توقف در ایستگاه اول، زمانی که وسیله در حال مسافرگیری است به مراتب بیشتر از دیگر ایستگاهها است.

چَلبی و فرهان [Shalaby and Farhan , 2004] یک الگوریتم برای پیش‌بینی نرخ مراجعه مسافران به ایستگاهها بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در روزهای گذشته پیشنهاد کردند. آنها از حاصل‌ضرب نرخ مراجعه مسافران به ایستگاهها در متغیر سرفاصله (فاصله زمانی ترک اتوبوس قبلی تا ورود اتوبوس بعدی به ایستگاه) تعداد کل مسافران منتظر تا رسیدن وسیله نقلیه، برآورد کردند. در مطالعه آنها زمان توقف وسیله برابر حاصل‌ضرب تعداد مسافران منتظر پیش‌بینی شده برای سوار شدن و متوسط زمان سوار شده یک مسافر (٢/٥ ثانیه) خواهد بود.

ژائو و لی [Zaho and Li, 2005] با مطالعه سیستم حمل و نقل شهر بِروارد[11] در ایالت فلوریدای آمریکا نشان دادند، نوع دری که مسافران برای سوار و پیاده شدند انتخاب می‌کنند، بر زمان توقف وسیله نقلیه در ایستگاه موثر است. بنابراین آنها مدلی برای پیش‌بینی درصد مسافرانی که هر یک از درهای وسیله برای سوار و پیاده شدن انتخاب می‌کنند ارایه کردند که در آن تأثیر عواملی مانند تعداد مسافران سوار شده، تعداد مسافران درون وسیله نقلیه قبل از توقف، تعداد مسافران پیاده شده، زمانی از روز (ساعات غیر پیک، ساعات پیک صبح و پیک بعد ازظهر) که توقف در آن بازه انجام می‌شود و فاصله از برنامه زمان‌بندی وسیله نقلیه را بر انتخاب در وسیله نقلیه بررسی شده است. آنها با استفاده از مدل انتخاب در وسیله نقلیه و پارامترهایی مانند تعداد مسافران سوار و پیاده شده، متوسط زمان سوار و پیاده شدن هر مسافر و زمانی از روز که وسیله در ایستگاه متوقف شده است، زمان توقف وسیله در هر ایستگاه را برآورد کردند. همچنین آنها توزیع نرمال لگاریتمی را برای زمان سوار و پیاده‌شدن مسافران از هر یک از درهای وسیله نقلیه پیشنهاد کردند.

میتکوتیس [Mitkotis, 2008] با تحلیل داده‌های سیستم حمل و نقل عمومی شهر شیکاگو که با استفاده از سیستمهای خودکار جمع‌آوری داده‌ها جمع‌آوری شده است، علاوه بر مطالعه و پیش‌بینی زمان توقف اتوبوسها در ایستگاه‌ها تاثیر عواملی مانند شلوغی، نحوه پرداخت کرایه و طراحی اتوبوس‌ها را بر زمان توقف اندازه‌گیری کرده است. تحلیل داده‌های این مقاله نشان می‌دهد زمان توقف اتوبوس در ایستگاهها زمانی که ایستگاهها شلوغ نیستند و پرداخت با کارتهای هوشمند انجام می‌شود ١/٥ ثانیه نسبت به زمانی که پرداخت با بلیت مغناطیسی انجام می‌شود، کمتر است، اما در ایستگاههای شلوغ نحوه پرداخت تاثیری بر زمان توقف ندارد.

رحیمی و تنگستانی [رحیمی و تنگستانی، ١٣٨٨]، زمان توقف اتوبوسها در خدمات تندروی حمل و نقل عمومی شهر تهران را بررسی و مدلی مبتنی بر رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی زمان توقف در ایستگاه‌های خطوط تندروی شهر تهران پیشنهاد کردند.

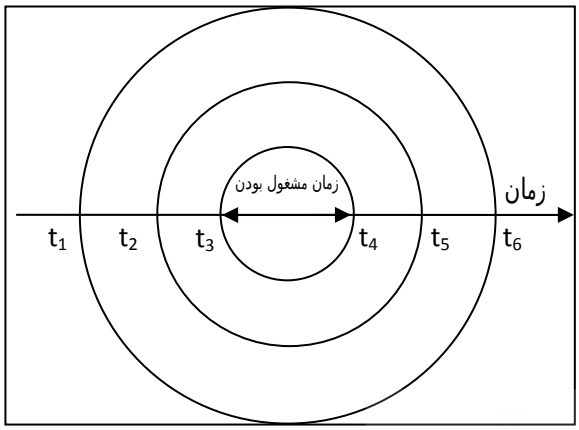
۳. جمع‌آوری داده ها

در این بخش، توقف وسایل نقلیه سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران در ایستگاهها به‌طور میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفته است و داده‌های مورد نیاز برای تحلیل زمان توقف به همراه ویژگیهای جامعه آماری، نمونه تصادفی اخذ شده و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها در زیر بخشهای بعدی این بخش، بیان شده است.

۳-۱ تحلیل میکروسکوپی توقف اتوبوسها

توقف وسایل نقلیه در ایستگاهها از لحظه ایستادن وسیله در ایستگاه برای پیاده و سوار کردن مسافران تا لحظه شروع به حرکت تعریف می‌شود. برای شناسایی عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها در سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران مدل میکروسکوپی توقف در ایستگاهها مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱ نمایی از رویدادهای توقف را در ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. محور افقی در شکل۱ معرف محور زمان و دایره ها رویدادهای در بازه توقف را نشان می‌دهد. در لحظه t_1 وسیله در ایستگاه متوقف می‌شود و در زمان t_2 درهای وسیله نقلیه برای پیاده شدن مسافران باز می‌شوند و در لحظه t_3 مسافرگیری آغاز می‌شود. در سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر تهران، فضای داخل اتوبوسهای عادی برای مسافران زن و مرد به طور جدا در نظر گرفته شده است. از سه در هر اتوبوس عادی در این سیستم حمل و نقل، درِ جلو و یکی از درهای عقب وسیله به سوار و پیاده شدن مسافران مرد و یک درِ عقب به سوار و پیاده شدن مسافران زن اختصاص یافته است. هم زمان با باز شدن درها، ابتدا مسافران سوار بر وسیله که قصد پیاده شدن دارند پیاده می‌شوند و تمام مسافرانی که قصد سوار شدن به وسیله نقلیه را دارند با مراجعه به درِ جلو بلیت خود را تحویل راننده داده و یکی از درها را برای سوارشدن انتخاب می‌کنند (مسافران مرد یکی از درهای جلو و یا عقب را به دلخواه انتخاب می‌کنند). مسافران هر در تا پایان فرآیند پیاده‌شدن مسافران سوار منتظر می‌مانند سپس از در مربوطه سوار می شوند. t_4 لحظه پایان فرایند مسافرگیری تمامی درها در شکل ۱ خواهد بود. درهای وسیله نقلیه بعد از پایان فرایند مسافرگیری در لحظه t_5 بسته شده و حرکت در لحظه t_6 انجام خواهد شد.

بر اساس تحلیل میکروسکوپی توقف وسایل، علاوه بر تعداد مسافرانی که سوار و پیاده می‌شوند، عوامل بالقوه دیگری مانند جنسیت مسافران، نوع سیستم پرداخت، نحوه چرخش مسافران درون وسیله نقلیه، نوع طراحی ایستگاه، زمانی از روز که توقف در آن انجام می‌شود می‌تواند بر زمان توقف وسیله در ایستگاه موثر باشد که در این پژوهش میزان تاثیر آنها بر زمان توقف بر اساس داده‌های سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران اندازه‌گیری خواهد شد.



شکل۱. رویدادهای توقف وسیله در ایستگاه‌ها (منبع: نظریه مؤلفان)

۳-۲ جامعه و نمونه آماری

سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران (اتوبوسرانی) با ناوگانی حدود ۵۹۰۰ وسیله نقلیه فعال در ۲۸۸ خط به‌طول تقریبی ۲۷۰۰ کیلومتر روزانه حدود ٤ میلیون مسافر را در شهر تهران جابجا می‌کند [www.ubct.ir]. مطالعات نشان می‌دهند ٦۰ درصد مردم تهران از سیستم‌های حمل و نقل عمومی استفاده می‌کنند که از این تعداد ۲۳ درصد، از اتوبوس برای جابجایی در شهر تهران استفاده می‌کنند [Aashtiani and Iravani, 2002]. انواع خدمات این سیستم حمل و نقل که در قالب خطوط ویژه، تندرو و عادی است، توسط دو بخش دولتی و خصوصی ارایه می‌شود. بیشتر خدمات سیستم حمل و نقل مورد مطالعه را خطوط عادی سرویس‌دهی که شامل تردد وسایل نقلیه با سه در، در خیابانهای دوبرایه و توقف در ایستگاههای متوالی است، تشکیل می‌دهند. بنابراین برای تعمیم این نوع سرویس‌دهی و با توجه به محدودیت‌های جمع‌آوری اطلاعات، ٦ مسیر از مسیرهای عادی به‌طور تصادفی از نقاط مختلف شهر تهران (شمال، جنوب، شرق، غرب هرکدام یک مسیر و مرکز دو مسیر) طی یک هفته در اسفندماه ۱۳۸٦ انتخاب شده و زمان سفر در آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به اینکه قدرت مدلهای پیش‌بینی در سیستم‌های حمل و نقل در ساعت اوج ترافیک مشخص می‌شود [Su, Yang, and Mahmassani, 2008]. بنابراین داده‌های

زمان سفر در دو بازه ساعت اوج ترافیک صبح و بعد از ظهر (۷ الی ۱۰ و ۱۵ الی ۱۸) طی روزهای مطالعه، زمانی که تقاضا در سیستم حمل و نقل بالاست و عموماً در لحظه ورود اتوبوس به ایستگاه صندلی‌های وسیله نقلیه اشغال است، جمع‌آوری شده‌اند. نمونه‌های مورد مطالعه از این جامعه شامل ٤٥٩ توقف وسیله در ۱۱ ایستگاه مختلف از مسیرهای شش‌گانه انتخاب شده از سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران است.

۳-۳ جمع‌آوری داده‌ها

هر چند استفاده از فنآوری‌های نوظهور در سیستم‌های حمل و نقل، جمع‌آوری داده‌های زمان توقف را آسان‌تر کرده است، اما به دلیل محدودیت در استفاده از آنها، جمع‌آوری داده‌ها توسط پژوهشگران، این تحقیق به صورت دستی انجام شده است. با نصب دوربینهای فیلم‌برداری در موقعیتهای مناسب از ایستگاه‌های مورد مطالعه و ضبط وقایع توقف اتوبوسها داده‌های مورد نیاز استخراج شده‌اند.

داده‌هایی مانند لحظه توقف، لحظه باز شدن درها، تعداد مسافران سوار و پیاده شده از هر در، لحظه شروع و پایان فرایندهای سوار و پیاده شدن، لحظه بسته شدن درها و لحظه حرکت به همراه شماره ایستگاه و زمانی از روز که توقف در آن انجام شده از جمله داده‌هایی است که پس از بازبینی فیلمهای ضبط شده برای هر توقف ثبت شده‌اند.

٤. تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، شامل دو بخش تحلیل آماری توصیفی و استنباطی است. در بخش تحلیل توصیفی، ویژگیهای جامعه آماری به همراه توصیف آماری متغیرهای شناسایی شده در رویداد توقف، برای شناخت بیشتر فرآیند توقف در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران بیان شده است. اما تحلیل‌های استنباطی انجام شده نیز شامل دو بخش است. بخش اول از تحلیل‌های استنباطی به برازش توزیع‌های آماری متغیرهای تصادفی رویداد توقف و آزمونهای فرض مربوط به رابطه میان متغیرها و زمان توقف اختصاص یافته است. قسمتی از نتایج این بخش در ساخت مدل شبیه‌سازیِ فرآیند توقف استفاده می‌شود. اما بخش دوم، شامل تحلیل رابطه رگرسیونی میان زمان توقف و متغیرهای بالقوه موثر و اندازه‌گیری شده در این تحقیق است. از نتایج تحلیل رگرسیونی می‌توان علاوه بر اندازه‌گیری میزان تاثیر متغیرهای بالقوه، مناسب‌ترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی زمان توقف را تعیین کرد.

٤-۱ تحلیل توصیفی

کل ٤٥٩ نمونه اخذ شده در ۱۱ ایستگاه مورد مطالعه به‌طور یکنواخت (تقریباً ٤۲ نمونه در هر ایستگاه) توزیع شده است. ٥٦/۹ درصد کل مشاهدات در ساعات اوج تقاضا در صبح و ٤۱/۳ درصد در ساعات اوج بعد از ظهر اخذ شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از ویژگی‌های آماری متغیرهای زمان توقف، زمان‌های باز بودن هر یک از درهای اتوبوس و تعداد مسافران سوار و پیاده شده به تفکیک هر در را نشان می‌دهد.

همان طور که از اعداد جدول ۱ محاسبه می‌شود، در مجموع ۲۰۸٤ نفر از وسیله نقلیه استفاده کرده‌اند که ٥۷ درصد آنها را مردان و مابقی را زنان تشکیل داده‌اند. از این تعداد ٤۰ درصد مسافرانی هستند که در ایستگاه‌ها سوار اتوبوس و مابقی از وسیله نقلیه پیاده شده‌اند.

٤-۲ تحلیل استنباطی داده‌ها

در این زیربخش علاوه بر تعیین توزیعهای آماریِ متغیرهای تصادفی زمان توقف، تعداد مسافران سوار و پیاده شده، زمان سوار و پیاده شدن مسافر و کل مسافران به تفکیک هر در برای استفاده در مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد فرآیند توقف، با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب تأثیر بخشی از عوامل مختلف بر زمان توقف وسیله بررسی شده است.

٤-۲-۱ توزیع آماری زمان توقف

مهم‌ترین متغیر اندازه‌گیری شده در این مطالعه، متغیر زمان توقف است. شکل ۲ نمودار هیستوگرام داده‌های جمع‌آوری شده از زمان توقف را نشان می‌دهد. همان طور که از نمودار برازش شده در شکل ۲ و نتیجه آزمون زیبندگی مشخص است، زمان توقف در ایستگاهها از دیدگاه آماری از توزیع نرمال لگاریتمی (سطح اطمینان بحرانی[۱۲] آزمون زیبندگی، ۰/٥۹ از توزیع مربع کای است) با متوسط ۲٤ ثانیه تبعیت می‌کند.

٤-۲-۲ توزیع آماری زمان سوار و پیاده شدن کل مسافران

زمان پیاده‌شدن کل مسافران از یک در، برابر فاصله زمانی لحظه پیاده‌شدن اولین مسافر داخل وسیله که قصد پیاده‌شدن در ایستگاه را دارد تا لحظه پیاده شدن آخرین مسافر از همان در است و

به همین ترتیب زمان سوار شدن مسافران، شامل فاصله زمانی لحظه سوار شدن اولین مسافر منتظر تا لحظه آخرین مسافر سوار شده از یک در است. این دو متغیر در ایستگاههای مختلف و درهای مختلف وسیله نقلیه به تفکیک اندازه‌گیری شده است. نتایج تحلیل واریانس برای دو متغیر زمان پیاده شدن و سوار شدن مسافران در ایستگاههای مختلف به ترتیب با سطح خطای ۰/۳۳ و ۰/٤ نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین میانگین این زمانها در ایستگاههای مختلف وجود ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مکان ایستگاهها بر زمان سوار و پیاده شدن کل مسافران تأثیری ندارد. از طرفی با برازش توزیع‌های آماری مختلف مانند آنچه در مورد متغیر زمان توقف بیان شد، نشان داده شده است که هر دو متغیر از توزیع نرمال لگاریتمی (خطای آزمون مربع کای برای آزمون زیبندگی به ترتیب ۰/۲و ۰/۱۸ برای پارامترهای سوار و پیاده شدن مسافران است) پیروی می‌کنند.

٤-۲-۳ توزیع آماری زمان سوار و پیاده شدن هر مسافر

به دلیل آنکه نهاد[۱۳]ها در مدل شبیه‌سازی را مسافرانی تشکیل می‌دهند که سوار وسیله نقلیه یا از آن پیاده می‌شوند، بنابراین در ساخت مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد زمان توقف، لازم است که زمانهای تصادفی هر یک از رخدادهایی که بر نهادها انجام می‌شوند مانند توزیع آماری زمانهای سوار و پیاده شدن یک مسافر تعیین شود. بنابراین در این تحقیق علاوه بر اندازه‌گیری کل زمان سوار و پیاده شدن مسافران از هر در، طول زمانی که یک مسافر صرف می‌کند تا از یک درِ وسیله نقلیه سوار یا پیاده شود، اندازه‌گیری و توزیع آماری این دسته از متغیرها تعیین شده است. داده‌های زمان سوار شدن یک مسافر از یک در با بازبینی فیلمهای ضبط شده از رویدادهای یک در و زمان سنجی فاصله زمانی میان تحویل بلیت تا سوار شدن یک مسافر اندازه‌گیری شده و زمان پیاده شدن یک مسافر از تقسیم زمان پیاده شدن کل مسافران از هر در بر تعداد مسافران پیاده شده از درِ مربوطه محاسبه شده است.

رسم هیستوگرام داده‌های زمان سوار و پیاده شدن یک مسافر و اجرای آزمونهای زیبندگی نشان می‌دهد که طول زمانی سوار و پیاده شدن یک مسافر از توزیع نمایی با پارامترهای متفاوت تبعیت می‌کند. پارامتر توزیع نمایی برای مسافران مردی که از درِ جلو و عقب سوار می‌شوند به ترتیب برابر ۰/٤۹ و ۰/۵۷ و مسافران مردی که از درِ جلو و عقب پیاده می‌شوند به ترتیب ۰/٤۷ و ۰/٤ است. این پارامتر برای فاصله زمانی سوار و پیاده شدن یک زن (از درِ اختصاصی زنان) به ترتیب برابر ۰/۷ و ۰/٤٤ براورد شده است.

٤-۲-٤ توزیع آماری تعداد مسافران پیاده شده در ایستگاه

از نتیجه تحلیل آنالیز واریانس بر روی تعداد مسافران پیاده شده در ایستگاهها مشخص است که میانگین تعداد مسافران پیاده شده در ایستگاههای مختلف با یکدیگر برابر است. با برازش توزیع‌های گسسته آماری مختلف بر نمودار فراوانی تعداد مسافران پیاده شده در ایستگاهها مشخص می‌شود توزیع هندسی با پارامتر$P=0.267$ با سطح اطمینان ۰/۱۵٦ بر اساس آزمون زیبندگی، مناسب‌ترین توزیع احتمال گسسته بر این متغیر است. ٦۰ درصد مسافرانی که در ایستگاهها از اتوبوس پیاده شده‌اند را مردان، و ٤۰ درصد آنها را زنان تشکیل داده‌اند.

همچنین از میان مسافرین مرد، ۷٤ درصد در جلو را برای پیاده شدن انتخاب کرده‌اند و مابقی از در عقب وسیله نقلیه برای پیاده‌شدن استفاده کرده‌اند. همچنین تحلیل واریانس بر روی این نسبتها نشان می‌دهد نحوه انتخاب در برای پیاده شدن مردان در تمامی ایستگاهها یکسان است.

برازش توزیع‌های احتمالی بر متغیر تعداد مسافرین پیاده شده از هر در نیز نشان می‌دهد، این متغیر در هر در دارای توزیع هندسی برای درِ جلو، عقب (مردان) و عقب (زنان) به ترتیب با پارامترهای ۰/٤۵، ۰/۷۲ و ۰/٤۵۸ است.

٤-۲-۵ تابع پیش‌بینی زمان توقف

در این بخش با استفاده از تحلیل رگرسیونی علاوه بر اندازه‌گیری تأثیر برخی از متغیرها بر زمان توقف، توانایی توابع مختلفی که در مرور ادبیات برای پیش‌بینی زمان توقف به آنها اشاره شد، بررسی شده است.

قبل از استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده برای ساخت مدلهای پیش‌بینی، آنها به دو دسته داده‌های آموزش و داده‌های اعتبار تقسیم‌بندی شده‌اند. از داده‌های آموزش برای تعیین ضرایب و پارامترهای مدل پیش‌بینی، و از داده‌های اعتبار برای ارزیابی توانایی مدل پیش‌بینی استفاده می‌شود. اگرچه قانونی برای تقسیم داده‌ها وجود ندارد، اما مانند بسیاری از تحقیقات، تقسیم داده‌ها بر اساس نسبت ۸۵ به ۱۵ و به صورت تصادفی (شامل ۳۹۱ مشاهده برای آموزش و ٦۸ مشاهده برای اعتبار) انجام شده است.

در ساده‌ترین شکل رابطه رگرسیونی از رابطه خطی با ٦ متغیر (شامل تعداد مسافران سوار و پیاده شده از هر در) مطابق رابطه ٦ برای برآورد زمان توقف استفاده شده است.

$$Dwell\ Time = \beta_0 + (\beta_1 Nb_1 + \beta_2 Na_1) + (\beta_3 Nb_2 + \beta_4 Na_2) + (\beta_5 Nb_3 + \beta_6 Na_3) \quad (٦)$$

پارامترها و متغیرهای رابطه فوق عبارتند از:

$Dwell\ Time$ = زمان توقف اتوبوس در ایستگاها

Nb_1= تعداد مسافران سوار شده از درِ جلو (مردان)

Na_1= تعداد مسافران پیاده شده از درِ جلو (مردان)

Nb_2= تعداد مسافران سوار شده از درِ عقب (مردان)

Na_2= تعداد مسافران پیاده شده از درِ عقب (مردان)

Nb_3= تعداد مسافران سوار شده از درِ عقب (زنان)

Na_3= تعداد مسافران پیاده شده از درِ عقب (زنان)

β_i = ضرایب رگرسیونی هر یک از متغیرهای فوق

علاوه بر مدل فوق، ٦ مدل دیگر مطابق روابط ذیل بر اساس آنچه در ادبیات موضوع برای پیش‌بینی زمان توقف پیشنهاد شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

$$Dwell\ Time = \beta_0 + \beta_1(Nb_1 + Nb_2) + \beta_2(Na_1 + Na_2) + \beta_3 Nb_3 + \beta_4 Na_3 \quad (٧)$$

$$Dwell\ Time = \beta_0 + \beta_1(Nb_1 + Nb_2 + Nb_3) + \beta_2(Na_1 + Na_2 + Na_3) \quad (٨)$$

$$Dwell\ Time = \beta_0 + (\beta_1 Nb_1^{\beta_{01}} + \beta_2 Na_1^{\beta_{02}}) + (\beta_3 Nb_2^{\beta_{03}} + \beta_4 Na_2^{\beta_{04}}) + (\beta_5 Nb_3^{\beta_{05}} + \beta_6 Na_3^{\beta_{06}}) \quad (٩)$$

$$Dwell\ Time = \beta_0 + \beta_1(Nb_1 + Nb_2)^{\beta_{01}} + \beta_2(Na_1 + Na_2)^{\beta_{02}} + \beta_3 Nb_3^{\beta_{03}} + \beta_4 Na_3^{\beta_{04}} \quad (١٠)$$

$$Dwell\ Time = \beta_0 + \beta_1(Nb_1 + Nb_2 + Nb_3)^{\beta_{01}} + \beta_2(Na_1 + Na_2 + Na_3)^{\beta_{02}} \quad (١١)$$

$$Dwell\ Time = \beta_0 + \beta_1(Nb_1) + \beta_2(Na_1) \quad (١٢)$$

مدلهای ٧ و ٨ ساده شده رابطه خطی کامل ٦ است که در آنها به ترتیب تعداد مسافرین مرد و زن سوار و پیاده شده (٤ متغیر) و تعداد کل مسافرین سوار شده و پیاده شده (٢ متغیر) مطابق آنچه در مرجع ٤ پیشنهاد شده، در مدل درنظر گرفته شده است. مدلهای ٩، ١٠ و ١١ توسعه رابطه آشتیانی و ایروانی [Aashtiani and Iravani, 2002] ، به صورت توان کامل به ترتیب از شش، چهار و دو متغیر است. همچنین رابطه ١٢ بر اساس رابطه ٢ که در کتاب استاندارد ظرفیت بزرگراهها [Highway Capacity Manual, 2000] ارایه شده در نظر گرفته شده است. مطالعه تعداد مسافران سوار و پیاده‌شده نشان می‌دهد در جلو در اکثر مواقع شلوغ ترین در است، بنابراین رابطه ١٢ بر اساس تعداد مسافرین سوار و پیاده‌شده از در جلو (شلوغ ترین در) تعریف شده است.

ضرایب روابط فوق با استفاده از روش حداقل مربعات خطا[١٤] برآورد شده‌اند که اطلاعات آن به همراه معیار برازندگی هر مدل، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده، ضریب همبستگی میان مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی داده‌های اعتبار در جدول ٢ ارایه شده است.

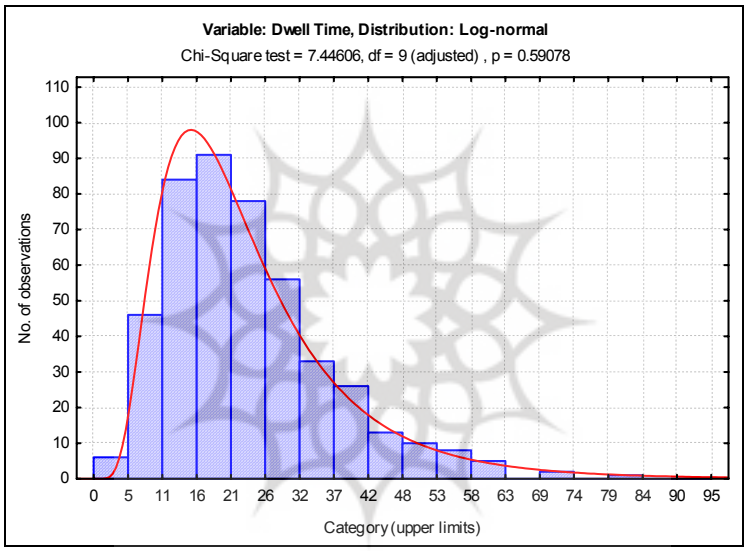
مقادیر ضرایب تعیین و ضریب هبستگی داده‌های اعتبار نشان می‌دهد مدلهای ٩، ١٠ و ١١ که توسعه مدلهای ارایه شده توسط آشتیانی و ایروانی [Aashtiani and Iravani, 2002] برای سیستم حمل و نقل شهر تهران است، بهتر از مدلهای دیگر پیشنهادی می‌تواند برای برآورد زمان توقف استفاده شود. نزدیک بودن ضریب تعیین مدلهای ٩ و ١٠ و ١١ و همچنین ضرایب تعیین مدلهای ٦، ٧ و ٨ نشان می‌دهد جدا کردن تعداد مسافرانی که از هر در سوار و پیاده می‌شوند تأثیر چندانی در دقت مدلهای پیش‌بینی ندارند، بنابراین می‌توان از رابطه ١١ که تنها تعداد مسافران سوار و پیاده‌شده را مستقل از جنسیت و دری که برای سوار شدن انتخاب می‌کنند و از نوع رابطه غیرخطی نمایی است برای برآورد زمان توقف اتوبوس‌ها در سیستم حمل و نقل شهر تهران استفاده کرد.

٤-٢-٦ تحلیل رگرسیونی مکان ایستگاه

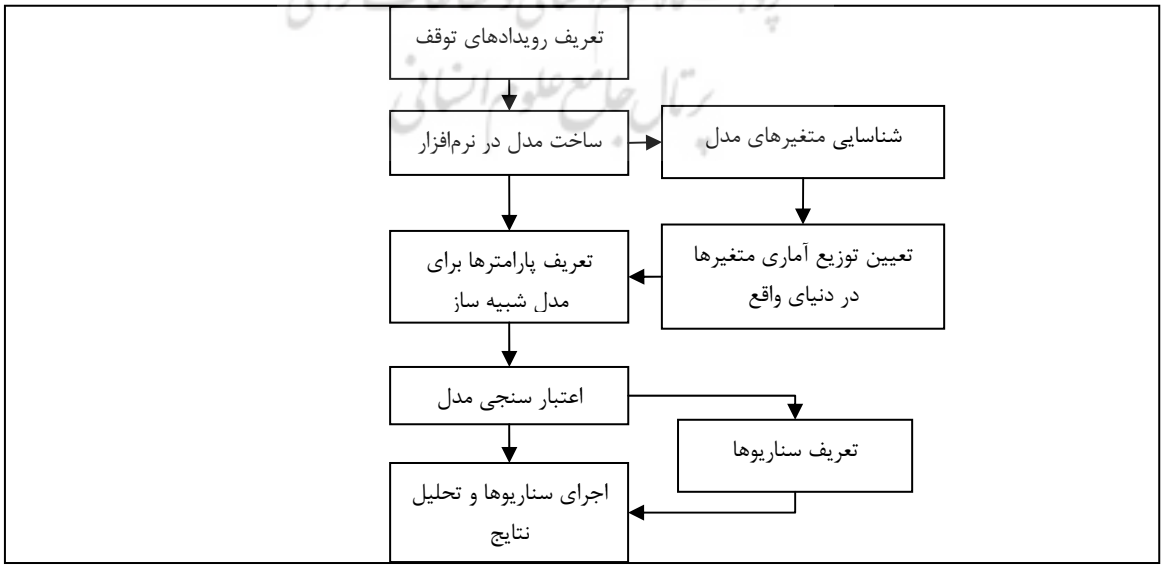
یکی از عوامل موثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها مکان فیزیکی ایستگاه بیان شده است [Zaho and Li, 2005]. برای مطالعه اثر این عامل بر زمان توقف در سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران به مدل رگرسیونی ساده خطی شماره ٦ در زیر بخش قبلی، متغیر شماره ایستگاه نیز اضافه شده و مقادیر ضرایب جدید محاسبه شده است. اضافه کردن متغیر شماره ایستگاه به مدل ٦، تغییر قابل ملاحظه‌ای بر مقدار ضریب تعیین رابطه رگرسیونی ندارد (از مقدار ٤٦/٣٧ به ٤٧ تغییر یافته است) و آزمون معنی‌دار بودن ضریب متغیر شماره ایستگاه (P_value آزمون برابر ٠/٣٣٦ است) در رابطه جدید نیز بیان کننده اثر ناچیز این متغیر بر زمان توقف در ایستگاهها بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در این سیستم حمل و نقل است. بی‌اثر بودن مکان ایستگاه بر زمان توقف می‌تواند به به‌علت یکسان بودن شرایط مکانی ایستگاهها برای پیاده و سوار کردن مسافران در خدمات عادی اتوبوسرانی شهر تهران باشد.

جدول ۱. خلاصه آماری داده‌های جمع آوری شده برای ٤٥٩ نمونه (منبع: خروجی نرم‌افزار **Minitab**)

نام متغیر	واحد اندازه‌گیری	میانگین	انحراف معیار	واریانس	مجموع	مینیمم	ماکزیمم
زمان توقف	ثانیه	۲۳/۷۳	۱۲/۵۸	۱۵۸/۳۵	۱۰۸۹۲	۲	۸٤
زمان باز بودن در جلو	ثانیه	۱۸/۱٦	۱۰/۵۸	۱۱۱/۸۹	۸۳٦۱	۰	٦۰
زمان باز بودن در عقب (مردان)	ثانیه	۱۷/۱	۱۰/٤۷	۱۰۹/۷	۷۸٤۵	۰	۵۷
زمان باز بودن در عقب (زنان)	ثانیه	۱٦/۸	۱۰/٦۷	۱۱۳/۹	۷۷۲٤	۰	۵۷
زمان تاخیر (فاصله بسته بودن درها و حرکت وسیله)	ثانیه	٤/۸۳	۷	٤۹	۲۲۱۷	۰	۵۷
مسافران سوار شده از در جلو	تعداد	۰/٦٤	۱/۰۹	۱/۱۸	۲۹۸	۰	۷
مسافران سوار شده از در عقب (مردان)	تعداد	۰/٤٤	۱/۰۹	۱/۱۹	۲۰۲	۰	۱۲
مسافران سوار شده از در عقب (زنان)	تعداد	۰/۷۵	۱/٤۰	۱/۹۷	۳٤۳	۰	۹
مسافران پیاده شده از در جلو	تعداد	۱/۱۳	۱/۵٤	۲/۳۷	۵۱۹	۰	۱۰
مسافران پیاده شده از در عقب (مردان)	تعداد	۰/۳۹	۰/۸٤	۰/۷۱	۱۷۹	۰	۷
مسافران پیاده شده از در عقب (زنان)	تعداد	۱/۱۸	۱/۹۷	۳/۸۸	۵٤۳	۰	۲۲



شکل۲. هیستوگرام داده‌های زمان توقف (منبع: خروجی نرم‌افزار **Statistica**)



شکل۳. مراحل مدلسازی و اجرای مدل شبیه‌سازی (منبع: متدولوژی مؤلفان)

جدول۲. ضرایب برآورد شده مدلها و معیار ارزیابی آنها (منبع: خروجی نرم‌افزار **Minitab**)

مدل	نام ضریب	مقدار ضریب	آماره آزمون (t)	سطح خطای آزمون	آماره برازندگی مدل (F)	سطح خطای آزمون برازندگی	ضریب اصلاح شده	ضریب تعیین	ضریب همبستگی داده‌های اعتبار
۶	β_0	۱۴/۶۵	۲۱/۷۵	۰/۰۰۰	۵۵/۳۳	۰/۰۰۰	۴۵/۵۳	۴۶/۳۷	۵۱/۷۷
	β_1	۲/۵۵	۵/۸۲	۰/۰۰۰					
	β_2	۱/۷۲	۵/۵۱	۰/۰۰۰					
	β_3	۱/۷۸	۳/۱۶	۰/۰۰۱					
	β_4	۱/۶۷	۲/۹۵	۰/۰۰۳					
	β_5	۲/۵۶	۶/۹۸	۰/۰۰۰					
	β_6	۲/۵۶	۶/۴۴	۰/۰۰۰					
۷	β_0	۱۴/۷	۲۲/۰۴	۰/۰۰۰	۸۲/۹۶	۰/۰۰۰	۴۵/۶۷	۴۶/۲۲	۵۰/۸۱
	β_1	۲/۲۳	۷/۳۱	۰/۰۰۰					
	β_2	۱/۷۱	۶/۸۳	۰/۰۰۰					
	β_3	۲/۵	۶/۹۳	۰/۰۰۰					
	β_4	۱/۵۵	۶/۴۳	۰/۰۰۰					
۸	β_0	۱۴/۷	۲۲/۲۴	۰/۰۰۰	۱۶۶/۴	۰/۰۰۰	۴۵/۸۹	۴۶/۱۷	۵۰/۹۶
	β_1	۲/۳۶	۱۳/۲۱	۰/۰۰۰					
	β_2	۱/۶۳	۱۰/۹۴	۰/۰۰۰					
۹	β_0	۱۴	۱۶/۱۸	۰/۰۰۰	۲۴۸/۵	۰/۰۰۰	۸۴/۴	۸۷/۹	۵۳/۶
	β_1	۱/۹۶	۲/۴	۰/۰۱۲					
	β_{01}	۱/۳	۴/۷	۰/۰۰۰					
	β_2	۱/۶	۲/۰۸	۰/۰۳۷					
	β_{02}	۱	۳/۶۷	۰/۰۰۰					
	β_3	۴/۶۵	۳/۵۵	۰/۰۰۰					
	β_{03}	۰/۱۷	۰/۵۸	۰/۵۵					
	β_4	۱/۶۷	۱/۴۵	۰/۱۴۵					
	β_{04}	۰/۶۹	۱/۰۶	۰/۲۸۹					
	β_5	۳/۷۶	۳/۷۷	۰/۰۰۰					
	β_{05}	۰/۷۲	۴/۳۳	۰/۰۰۰					
	β_6	۲/۵۶	۳/۱۵	۰/۰۰۱					
	β_{06}	۰/۷۵	۴/۹	۰/۰۰۰					
۱۰	β_0	۱۳/۱۵	۱۳/۸۸	۰/۰۰۰	۳۵۷/۸	۰/۰۰۰	۸۴/۲	۸۷/۸	۵۲/۳۸
	β_1	۴/۱۷	۴/۴۷	۰/۰۰۰					
	β_{01}	۰/۶۲	۴/۷۴	۰/۰۰۰					
	β_2	۲/۲۴	۲/۶	۰/۰۰۹					
	β_{02}	۰/۸	۴	۰/۰۰۰					
	β_3	۳/۸۶	۳/۹۵	۰/۰۰۰					
	β_{03}	۰/۷۲	۴/۴	۰/۰۰۰					
	β_4	۲/۷۵	۳/۳۳	۰/۰۰۰					
	β_{04}	۰/۷۲	۴/۸۵	۰/۰۰۰					
۱۱	β_0	۱۱/۸۸	۱۱/۰۶	۰/۰۰۰	۶۵۹/۵	۰/۰۰۰	۸۴/۳	۸۷/۹	۵۵/۱
	β_1	۵/۴۷	۶/۳۶	۰/۰۰۰					
	β_{01}	۰/۶۱۱	۸/۳۹	۰/۰۰۰					
	β_2	۳/۳۷	۳/۸۴	۰/۰۰۰					
	β_{02}	۰/۷	۶/۶۵	۰/۰۰۰					
۱۲	β_0	۱۷/۸۲	۲۴/۳۹	۰/۰۰۰	۶۲/۷۹	۰/۰۰۰	۲۴/۰۶	۲۴/۴۵	۴۰/۵
	β_1	۴/۰۱	۸/۳۳	۰/۰۰۰					
	β_2	۲/۵۲	۷/۰۹	۰/۰۰۰					

* بالابودن مقادیر خطای آزمون از ۰/۰۵ در آزمونهای جزئی نشان از بی‌اثر بودن این ضرایب در مدل مربوطه است.

۵. شبیه سازی

شبیه سازی یکی دیگر از ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها در سیستم های حمل و نقل است. با ساخت مدل های منطبق بر دنیای واقعی می‌توان ویژگی‌ها و تأثیر عوامل مختلف بر سیستم‌های حمل و نقل را در زمان کوتاه بررسی کرد[بهبهانی، افندی‌زاده و رحیم اف،۱۳۸۷]. برای بررسی و مطالعه بیشتر عوامل مؤثر بر زمان توقف اتوبوسها در ایستگاهها و ارزیابی راهکارهای کاهش آن، مدل شبیه سازی از فرآیند توقف با استفاده از نرم افزار شبیه سازی گسسته پیشامد به نام ED ساخته و اجرا شده است.شکل ۳ قسمتهای مختلف ساخت و اجرای مدل شبیه سازی را نشان می‌دهد. در ادامه فعالیت های هر یک از این قسمت ها تشریح می‌شود.

۵-۱ تعریف رویدادهای توقف

رویدادهایی که در هر بار توقف وسیله نقلیه اتفاق می‌افتند در (شکل۱)شامل ورود، توقف، بازکردن درها، پیاده شدن مسافران سوار، تحویل بلیت و سوار شدن مسافران منتظر، بسته شدن درها، حرکت و ترک ایستگاه نشان داده شده‌اند.

۵-۲ ساخت مدل و تعریف پارامترهای آن

نرم افزار ED یکی از نرم‌افزارهای شبیه سازی گسسته پیشامد با رویکرد شی‌گرا[۱۵] است. در این نرم افزار برای سادگی مدلسازی شیءهای متفاوتی که به آنها اتم گفته می‌شود با عملکردهای متفاوت در نظر گرفته شده اند. با تغییر ویژگیهای هر اتم در این نرم افزار این امکان فراهم می‌شود که بتوان یکی از اجزای سیستم واقعی را در محیط مجازی الگوبرداری کرد. اصلی‌ترین اتمهای این نرم‌افزار عبارتند از:

اتم محصول[۱۶]: این اتم تولید کننده نهادها در نرم افزار است. به عنوان مثال با این اتم می‌توان اتوبوس، مسافر و یا هر نهادی که در فرایند شبیه‌سازی، کار بر روی آن انجام می‌شود را الگو برداری کرد. از ویژگیهای این اتم، ابعاد نهاد، رنگ آن، نماد آن و جزئیات ظاهری نهاد است.

اتم منبع[۱۷]: این اتم کنترل کننده نحوه ورود نهادها به مدل شبیه‌سازی است. چنانچه قرار باشد یک سیستم ساده صف (مانند سیستم صف بانک) با این نرم‌افزار مدلسازی شود، این اتم حکم در ورودی به سیستم را دارد که با تعریف ویژگی فاصله دو ورود متوالی نهاد بر اساس توزیعهای احتمالی مختلف در آن می‌توان نحوه ورود نهادها (مشتریان بانک) را تعریف کرد.

اتم خدمت‌دهنده[۱۸] : وظیفه این اتم نگهداشتن نهاد ورودی به آن، به اندازه تعریف شده است. این نهاد در سیستم ساده صف حکم خدمت‌دهنده را بر عهده دارد و از ویژگیهای آن تابع توزیع زمان خدمت‌دهی است.

اتم صف[۱۹] :نگهداری مجموعه‌ای از نهادها در کنارهم و اولویت‌بندی آنها برای خروج از آن، و ورود به مرحله بعد از وظایف این اتم است.

اتم سینک[۲۰]: این اتم نهادهایی را که در طول زمان شبیه‌سازی پردازش بر روی آنها اتمام یافته نابود می‌کند. در خروجی سیستم صف بانک تعریف مناسبی برای کارکرد این اتم است.

همانند اتمهای فوق اتمهای دیگری مانند انواع نقاله‌ها، حمل و نقل کننده‌ها، کنترلگرهای نهاد و ... نیز با اهداف خاص در نرم‌افزار تعریف شده‌اند که متناسب با سیستمی که قرار است شبیه‌سازی شوند می‌توان از آنها استفاده کرد. همچنین قابلیت تغییر کارکرد هر یک از اتمهای مدل با استفاده از زبان برنامه‌نویسی متناسب با نیاز مدلسازی این امکان را به مدلساز می‌دهد تا بتواند هر سیستم پیچیده را در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی و اجرا کند.

برای ساخت مدلِ فرایند توقف در نرم افزار ED، می‌بایست برای هر یک از رویدادهای تعریف شده در زیر بخش قبل از یکی از اتمهای مناسب در نظر گرفته شده در نرم افزار استفاده شود تا آنچه در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد به طور مشابه در دنیای مجازیِ شبیه‌سازی نیز اتفاق بیافتد.

نهادهای مدل را اتوبوسها و مسافران تشکیل می‌دهند. برای تولید هر یک از این دو نهاد در مدل یک اتم محصول درنظر گرفته شده است. همچنین برای کنترل ورود مسافران و اتوبوسها به مدل از دو اتم منبع به طور جداگانه استفاده شده است. همزمان با ورود یک اتوبوس به مدل و قبل از ورود به ایستگاه، تعدادی مسافر در درون وسیله به عنوان مسافران داخل وسیله وارد می‌شوند. با ورود اتوبوس به ایستگاه، سه اتم خدمت‌دهنده به عنوان درهای اتوبوس عمل کرده و تا اتمام فعالیت پیاده و سوار شدن مسافران، نهاد (اتوبوس وارد شده به ایستگاه) را در طول شبیه‌سازی، درون ایستگاه نگه می‌دارد. زمان مشغول بودن هر یک از درها با تنظیم پارامترهای هر یک از اتمهای خدمت‌دهنده که به عنوان درهای اتوبوس عمل می‌کنند محاسبه می‌شود. تنظیم پارامترها شامل تعریف توزیع آماری تعداد مسافران پیاده شده و سوار شده (بند۲-٤-۲) و توزیع آماری مدت زمان سوار و پیاده شدن یک مسافر (بند٤-۲-۳) است. در پایان، وسیله نقلیه زمانی ایستگاه را

ترک می‌کند که هر سه خدمت‌دهنده درنظر گرفته شده در مدل فعالیت خود را به پایان رسانده باشند. پس از اتمام فعالیت اتمهای خدمت‌دهنده، نهاد تولید شده (اتوبوس) توسط اتم نابودگر از مدل حذف می‌شود و در ادامه شبیه‌سازی، نهادی دیگر وارد مدل می‌شود. هم زمان با رخ‌دادهای فوق، پارامترهایی مانند لحظه ورود وسیله نقلیه به مدل، لحظه باز شدن درها و ... در یک فایل Excel برای تحلیل نتایج شبیه‌سازی ثبت می‌شود.

۵-۳ارزیابی صحت و دقت مدل شبیه‌سازی

با تطبیق دقیق رویدادهای مدل با رویدادهای توقف در واقعیت و اجرای مدل با پارامترهای فرضی و همچنین مطالعه نتایج شبیه‌سازی، صحت مدلسازی تأیید می‌شود. اما برای ارزیابی دقت مدل، پس از جایگذاری توزیعهای آماری به عنوان پارامترهای اتمهای مدل، شبیه‌سازی به تعداد ورود ۱۰۰۰ وسیله به ایستگاه انجام شده است. مقادیر متوسط معیارهای ارزیابی دقت مدل بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران و متوسط مقادیر مربوطه که از نتایج شبیه‌سازی به دست آمده است در جدول ۳ ارایه شده است. اختلاف ناچیز مقادیر واقعی و محاسبه شده از شبیه‌سازی به ازای هر معیار ارزیابی و تأیید ناچیز بودن این اختلافها با آزمونهای آماری مناسب، دقت مدل شبیه‌سازی ساخته شده تأیید می‌شود. بنابراین می‌توان از آن با اطمینان برای تحلیل سناریوهای مختلف استفاده کرد.

٥-٤ارزیابی سناریوها

همان گونه که در مقدمه اشاره شد، ساخت و اجرای مدل شبیه‌سازی فرآیند توقف وسایل در ایستگاهها به دو منظور انجام شده است. اولاً با استفاده از این مدل، امکان بررسی تأثیر بخشی از عوامل بالقوه موثر بر زمان توقف مانند نحوه پرداخت کرایه و تغییر در الگوی سوار و پیاده شدن مسافران که دسترسی به داده‌های آنها امکان پذیر نیست، فراهم می‌شود و ثانیاً به کمک آن می‌توان سیاستهای کاهش زمان توقف وسایل در ایستگاهها را مورد ارزیابی قرار داد. در این بخش، هر دو هدف فوق در قالب سناریوهایی طراحی شده و پس از اعمال تغییر مدل شبیه‌سازی براساس هر سناریو، شبیه سازی، مجدداً تحت هر سناریو اجرا شده و نتایج تأثیر اجرای سناریوها بر زمان توقف ارایه شده است.

٥-٤-١ تغییر نحوه پرداخت

یکی از مؤثرترین اقداماتی که شرکتهای اتوبوسرانی می‌توانند برای افزایش رضایت مسافران انجام دهند، تغییر در نحوه پرداخت هزینه سفر است. در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران از بلیت کاغذی که هر مسافر باید در قسمت درِ جلو تحویل راننده دهد، استفاده می‌شود، اما راه‌اندازی سیستم پرداخت الکترونیکی و اخذ هزینه در مقابل هر در می‌تواند منجر به به کاهش طول زمان سوار شدن مسافران و درنتیجه کاهش زمان توقف شود. برای اندازه‌گیری میزان تأثیر تغییر سیستم پرداخت بر زمان سوار شدن هر مسافر، در تعدادی از ایستگاهها از مسافران خواسته شده که بدون دادن بلیت سوار وسیله نقلیه شوند تا زمانهای رویدادهای سوار شدن ضبط شود. پس از بازبینی فیلمهای ضبط شده در این ایستگاهها مشخص شد که زمان سوار شدن مسافری که از درِ عقب سوار می‌شود ٤١ درصد کاهش می‌یابد، اما زمان سوار شدن مسافران در جلو تغییری ندارد. با اعمال این تغییر در پارامتر مربوطه در مدل شبیه‌سازی و اجرای مدل به تعداد ورود ۱۰۰۰ وسیله نقلیه به ایستگاه، ٢٣/٦ درصد در زمان توقف (متوسط زمان توقف در این سناریو برابر ۱۷/۹ ثانیه است) نسبت به زمانی که پرداخت به صورت دستی انجام می‌شود، صرفه‌جویی شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت یکی از اقدامات موثر بر کاهش زمان توقف در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران تغییر فرآیند دریافت بلیت از کاغذی به سامانه الکترونیکی است.

٥-٤-٢ تغییر الگوی سوار شدن مردان (تغییر نحوه چرخش مسافران مرد)

تأثیر نحوه سوار و پیاده شدن مسافران مرد از درِ جلو و عقب بر زمان توقف، یکی دیگر از سناریوها است. در حالت کنونی هر دو فعالیت سوار و پیاده شدن مردان از هر دو درِ اختصاصی به طور همزمان انجام می‌شود، اما در سناریوی طراحی شده هر یک از درهای اختصاصی به مردان، تنها به یکی از فعالیتهای سوار و پیاده شدن اختصاص یافته است. پس از اعمال این تغییر در مدل شبیه‌سازی و اجرای آن به تعداد ۱۰۰۰ ورود وسیله نقلیه با پارامترهای قبلی، متوسط زمان توقف، متوسط زمان باز بودن درهای جلو، عقب (مردان) و درهای عقب (زنان) به ترتیب برابر ٢٣/٣- ١٧/٧-١٩/٩ و ١٦/١ برآورد شده است. از مقایسه نتایج اجرای این سناریو و نتایج جدول ۳ مشخص می‌شود، متوسط

زمان توقف تغییر چندانی ندارد، اما زمان باز بودن درِ جلو کاهش و زمان باز بودن درِ عقب(مردان) افزایش داشته است. اجرای این الگو می‌تواند در کاهش زمان انتظار مسافران سوار و منتظر به دلیل کاهش تداخل فعالیتهای سوار و پیاده شدن مؤثر باشد.

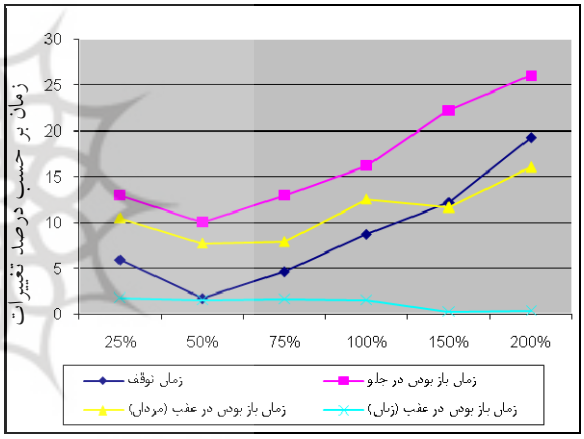
۵-٤-۳ اندازه‌گیری تأثیر ازدحام مسافران منتظر

در تعداد محدودی از مشاهدات جمع‌آوری شده، تعداد مسافران منتظر در ایستگاهها برای سوار شدن از هر در، بیش از ۱۰ نفر بوده است. با استفاده از مدل شبیه‌سازی می‌توان تأثیر ازدحام و شلوغی مسافران برای سوار شدن به اتوبوس در ایستگاهها بر زمان توقف را بررسی کرد. با افزایش نرخ مراجعات به تفکیک گروه‌های جنسی به ایستگاه، میزان تغییر در زمان توقف ارزیابی شده است. شکل ٤ روند درصد تغییرات در زمان توقف، به ازای درصد تغییرات نرخ مراجعات مردان به ایستگاه را نشان می‌دهد.

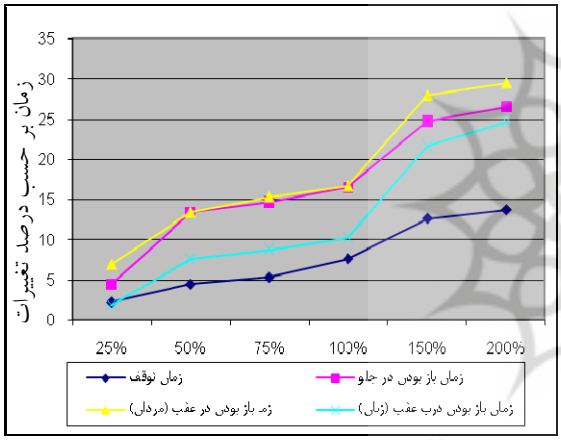
مطابق شکل ٤ افزایش ۲۵ الی ۲۰۰ درصدی مراجعات مردان به ایستگاه منجر به افزایش ۵ الی ۲۰ درصدی (منحنی Dwell Time) زمان توقف تقریباً به صورت خطی می‌شود.

در این نمودار، تغییرات زمان بازبودن هر یک از درها به ازای تغییر در نرخ ورود مردان به ایستگاه نیز نشان داده شده است.

شکل ۵ اثر شلوغی مراجعه‌کنندگان زن به ایستگاه را بر زمان توقف نشان می‌دهد. افزایش ۲۵ الی ۲۰۰ درصدی نرخ مراجعات زن به ایستگاه، منجر به افزایش ۲/۵ الی ۱٤ درصدی زمان توقف می‌شود.مقایسه دو شکل ٤ و ۵ نشان می‌دهد، اثر ازدحام مردان بر زمان توقف، بیشتر از اثر شلوغی زنان بر زمان توقف است و روند تأثیر شلوغی هر دو گروه بر زمان توقف به صورت خطی (ضریب تعیین خط رگرسیونی روند تغییرات زمان توقف در نمودارهای ٤ و ۵ به ترتیب ۷٦٪ و ۹۵٪ برآورد شده است) افزایش می‌یابد.



شکل ٤. میزان تاثیر شلوغی مراجعه مردان به ایستگاه (منبع: تحلیل نتایج شبیه‌سازی)



شکل ۵. میزان تاثیر شلوغی مراجعه زن به ایستگاه (منبع: تحلیل نتایج شبیه‌سازی)

جدول۳. مقایسه معیارهای ارزیابی دقت مدل شبیه‌سازی (منبع: خروجی نرم‌افزار Minitab)

معیار	مقدار واقعی		مقدار شبیه‌سازی شده		سطح خطای آزمون
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	اختلاف میانگینها
زمان توقف	۲۳/۷	۱۲/٦	۲۳/۵	۱۱/٤	۰/۷۷۲
زمان باز بودن در جلو	۱۸/۲	۱۰/٦	۱۸/۷	۱۰/۷	۰/۳۵٦
زمان باز بودن در عقب (مردان)	۱۷/۱	۱۰/۵	۱۷/۷۹	۹/۰٦	۰/۱۷۸
زمان باز بودن در عقب (زنان)	۱٦/۸	۱۰/۷	۱۵/۹۳	۹/۲۱	۰/۰۸۹

٦. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مشکل ترافیک در شهرهای بزرگ مانند شهر تهران با توسعه حمل و نقل عمومی کاهش می‌یابد. سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی در کلان شهرها به دلیل هزینه‌های کم راه‌اندازی، و حمل و نقل، و انعطاف‌پذیری زیاد در ارایه خدمت در تمامی نقاط یک شهر نسبت به سایر سیستم‌های حمل و نقل عمومی، مورد توجه بیشتری توسط برنامه‌ریزان شهری و مسافران قرار گرفته است. برنامه‌ریزی دقیق، اعتماد و رضایت مسافران و کاهش هزینه‌های این سیستم را به دنبال خواهد داشت. یکی از پارامترهای مهم برنامه‌ریزی در سیستم اتوبوسرانی، زمان توقف وسایل حمل و نقل در ایستگاه‌های یک مسیر است. مطالعه میکروسکوپی فرایند توقف و شناسایی عوامل مؤثر بر آن در سیستم حمل و نقل عمومی شهر تهران منجر به ارایه برنامه‌های دقیق تر در این سیستم خواهد شد. مطالعه پیرامون زمان توقف در سیستم اتوبوسرانی شهر تهران به علت ویژگیهای خاص این سیستم مانند ویژگیهای خاص اتوبوسها یا تفکیک مسافران بر اساس جنسیت آنها، از سایر مطالعات انجام شده در این حوزه منفک می‌شود که در این پژوهش به آن پرداخته شده است. در این پژوهش با ثبت رویدادهای زمان توقف در سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی شهر تهران، علاوه بر توصیف آماری زمان توقف، با استفاده از آزمونهای آماری مناسب و تحلیل رگرسیونی، میزان تأثیر عوامل بالقوه‌ای مانند مکان ایستگاه، تعداد مسافران سوار و پیاده شده و جنسیت مسافران سوار و پیاده شده بر زمان توقف، اندازه‌گیری شده است. مطالعه آماری نشان می دهد به علت مشابه بودن شرایط ایستگاه‌های توقف، مکان ایستگاه تأثیر چندانی بر زمان توقف ندارد. همچنین برازش مدل‌های مختلف ارایه شده در ادبیات موضوع نشان می‌دهد مدلهای غیر خطی نمایی بدون درنظر گرفتن جنسیت مسافران عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر مدلهای پیش‌بینی زمان توقف بر اساس تعداد مسافران سوار و پیاده شده دارد. مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای بررسی تأثیر بخش دیگری از عوامل بالقوه موثر بر زمان توقف که امکان دسترسی به داده‌های آنها در سیستم حمل و نقل شهر تهران وجود ندارد، با استفاده از نرم افزار ED طراحی و اجرا شده است. تحلیل نتایج اجرای شبیه سازی با سناریوهای مختلف نشان می‌دهد استفاده از سیستم الکترونیکی پرداخت در جلو هر "در" می‌تواند تا ٢٣/٦ درصد زمان توقف را در ایستگاه‌ها کاهش دهد و تخصیص هر یک از فعالیتهای سوار و پیاده شدن مردان به هر یک از درهای جلو و عقب تأثیر چندانی در کاهش زمان توقف نسبت به حالتی که هر دو فعالیت به طور همزمان توسط دو در انجام می‌شود، ندارد.

٧. پانویس‌ها

1-Intelligent Transportation Systems
2- Enterprise Dynamics
3- Dwell Time
4- Milwaukee
5- Lafayette
6- Fare Box Type
7- Highway Capacity Manual
8-Transit Capacity and Quality of Service Manual
9-Portland
10-Oregon
11-Broward
12- P-Value
13- Entity
14- Least Square Error
15- Object Oriented
16- Product Atom
17- Source Atom
18- Server Atom
19-Queue Atom
20-Sink Atom

٨. مراجع

- Aashtiani, H. Z. and Iravani, H. (2002) "Application of Dwell Time Functions in Transit Assignment Model", Transportation Research Record, pp. 88-92.

- Bertini, R. and El-Geneidy, A. M. (2004) "Modeling Transit Trip Time Using Archived Bus Dispatch System Data", Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 1, pp. 56-67.

- Dueker, K. J., Kimpel,T. J. and Strathman J.G. (2004) "Determinants of Bus Dwell Time", Journal of Public Transportation, Vol. 7, No. 1, pp. 21-40.

- Guenthner, R. P. and Sinha, K. C. (1983) "Modeling bus delay due to passenger boarding and alighting", Transportation Research Board, Transportation Research Record 915, pp. 7-13.

- Highway Capacity Manual" (2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

- Kraft, W. and Bergen, T. (1974) "Evaluation of passenger service times for street transit Systems", Transportation Research Record, 505, pp. 13-20.

- Levinson, H. S. (1983) "Analysis transit travel time performance", Transportation Research Board, Transportation Research Record, 915, pp.1-6.

- Lin, G., Liang, P., Schonldfeld, P. and Larson R. (1995) "Adaptive control of transit operations", Final Report for Project MD-26-7002, University of

Maryland, U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration.

- Marshall, L.F., Levinson, H.S., Lennon, L.C. and Cherry, J. (1990) "Bus service times and capacities in Manhattan", Transportation Research Record, 1266, Transportation Research Board, Washington D.C, pp. 189-196.

- Mitkotis, M. N. (2008) "Modeling the factors affecting bus stop dwell time use of automatic passenger counting, Automatic fare counting, and automatic vehicle location data", Transportation Research Record, No. 2072, pp. 125-130.

- Rajbhandari, R., Chien, S. and Daniel, J. (2003) "Estimation of bus dwell time with automatic passenger counter information", Presented at 82nd Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.

- Seneviratne, P. N., Tam, L. and Javid, M. (1989) "Scheduling fixed route bus services using simulation", Proceedings of the International Conference on Microcomputers in Transportation, pp. 1042-l 053.

- Shalaby, A. and Farhan, A. (2004) "Prediction model of bus arrival and departure times using AVL and APC data", Journal of Public Transportation, Vol. 7, 41–61.

- Su, L., Yang, J. and Mahmassani, H. (2008) "Travel time estimation on piecewise truncated quadratic speed trajectory", Transportation Research Part A, Vol. 24, pp. 173-186.

- Transit Capacity and Quality of Service Manual (2003), Transportation Research Board of the National Academies. www.ubct.ir.

- Zaho, F. and Li, M. (2005) "Calibration of highway/transit speed relationships for improved transit network modeling in FSUTMS", Florida Department of Transportation.

– بهبهانی، حمید، افندی زاده، شهریار و رحیم اف، کامران (۱۳۸۷) "تحلیل زمان انتظار مسافران در ایستگاههای مترو با استفاده از تکنیک شبیه سازی (مطالعه موردی متروی تهران)"، پژوهشنامه حمل و نقل ، شماره ۱۵، ص. ۱۵–۳۰.

– رحیمی، امیر مسعود و تنگستانی، آتوسا (۱۳۸۸) " مدلسازی محاسبه زمان توقف در ایستگاههای اتوبوسرانی شهری، مطالعه موردی: خط یک اتوبوس تندرو شهر تهران) "، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی