

برآورد زمان انتظار مسافران در ایستگاه مترو و بررسی عوامل موثر بر آن با استفاده از رویکرد شبیه سازی

سمیه نوری حسین آبادی¹، ساناز نیک فال آذر²

¹. دانش آموخته مهندسی حمل و نقل ریلی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
². دانشجوی مهندسی حمل و نقل ریلی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

در سیستم های حمل و نقل همگانی شهری، تعیین زمان انتظار مسافران در ایستگاه ها برای بهره مندی از خدمات ارائه شده، اهمیت فراوانی دارد. شبیه سازی ابزاری است که بوسیله آن می توان زمان را فشرده کرد، به نحوی که فعالیتهای چند ساعت یا روز یا ... را در ظرف چند دقیقه و گاهی در ظرف چند ثانیه شبیه سازی کرد. به منظور تحلیل عوامل اثر گذار بر زمان انتظار مسافران در مترو، که دارای جایگاه ویژه ای در میان سیستم های همگانی است، با توجه به تعداد بسیار زیاد پارامترهای موثر بر آن، مدل شبیه سازی مناسب ترین راهکار برای تجزیه و تحلیل است. در این مقاله بر مبنای شاخص های شناسایی شده اثر گذار بر زمان انتظار مسافران در محیط مطالعات موردی ایستگاه دانشگاه علم و صنعت، اقدام به بررسی های میدانی و آمارگیری از حجم مسافران ورودی، زمان پیاده روی از محل ورود به ایستگاه تا روی سکو، زمان های خدمتدهی اپراتورهای فروش انواع بلیت و زمان خدمتدهی گیت های کنترل بلیت از سیستم مترو شده است و سپس با توجه به فرآیند مدل سازی شاخص ها، وضعیت ایستگاه برای 18 ساعت از ساعت 5 صبح الی 23 شبیه سازی شده و در ادامه پس از مشخص شدن مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه در هر یک از 18 ساعت با تغییر در شاخص های شناسایی شده اثر هر یک بر زمان حضور بررسی شد.

کلید واژه: شبیه سازی، زمان، ایستگاه، مسافر، خدمتدهی، انتظار

مقدمه

انسان برای رفع نیازهای خویش سیستم های متنوعی اعم از تولیدی و خدماتی را بوجود آورده است. این سیستمها در طول زمان رشد و توسعه یافته اند و به نوبه خود مسائل و مشکلاتی را هم سبب شده اند که گاه پیچیدگی این سیستمها فرآیند تصمیم گیری، هدایت و کنترل را برای افراد بسیار حساس و سخت ساخته است.

¹. Somaye_Noori@yahoo.com

². Sanaz.Nikfal@gmail.com

برای حل این مشکلات روشها و تکنیک های متفاوتی بوجود آمده که بکارگیری آنها به نوع سیستم مربوطه وابسته است. تجزیه و تحلیل های ریاضی، مشاهده عینی، فنون مختلف تحقیق در عملیات را می توان از جمله این روشها نام برد. طبیعی است که هریک از روشهای مذکور دارای نقاط ضعف و قوت و محدودیتهای خاص خود می باشند و بکارگیری همه آنها در یک سیستم خاص به سادگی ممکن نیست. یکی از روشهایی که برای شناخت وضع موجود سیستم و بهبود بخشیدن به آن وجود دارد شبیه سازی است.

فن شبیه سازی بسته به نوع سیستم و شرایط آن بیشتر به منظور:

- ارزیابی راه حل های موجود
- توسعه راه حل های موجود
- ارائه و انتخاب یک راه حل جدید

مورد استفاده قرار می گیرد که در اکثر موارد منجر به تولید خروجی های قابل قبول از مسئله می شود.

در مطالعات انجام شده توسط [1] Janice P.Li در زمینه شبیه سازی یک ایستگاه، نمودارهای گردش جریان مسافر شامل فعالیت های مهمی که در ایستگاه انجام می شود و ارتباط متقابل و فیما بین آنها شناسایی شده است که زمان لازم برای انجام این فعالیتها، تابعی از ساختار کرایه و سیاستهای جمع آوری آنها، طرح ایستگاه، شیوه های بهره برداری و ظرفیت سیستم بیان شده است. با استفاده از ابزار شبیه سازی، می توان به ارزیابی و تصمیم گیری در مقولات و موضوعات زیر پرداخت:

بهینه سازی ترکیب انواع تجهیزات اخذ کرایه؛ که به منظور تعیین نحوه چیدمان آنها در عملکرد یک طرفه یا دوطرفه و با هدف کاهش زمان انتظار مسافران است؛

تغییر رویه اخذ کرایه؛ از قبیل حذف پرداخت اسکناس و سکه، جایگزین کارت های اعتباری، کارت بلیت مدت دار و غیره، افزایش تعداد جایگاه های فروش بلیت و استقرار آنها در مکانهای دور از محل تردد با هدف کاهش حجم ترافیک؛

اصلاح تجهیزات اخذ کرایه؛ با هدف افزایش سرعت در ارائه خدمات صدور بلیت به مسافران؛

زمانبندی حرکت قطارها؛ با توجه به این که بسیاری از ایستگاهها، نقطه تبادل مسافران خطوط مختلف قطارها بوده و مسافران ناگزیرند از پله ها، پله های برقی و دروازه های کنترل بلیت عبور کنند، برای تعیین نرخ ورود مسافران و الگوی تردد آنها در راهروها، سکوها و ...، بایستی تأخیر حرکت و اعزام قطارها، سرفاصله زمانی ورود قطارها و تعداد مسافران، ورودی به آنها و خروجی از آنها ارزیابی شود؛

طرح ایستگاه؛ برای حداقل کردن زمان انتظار مسافران لازم است چرخه گردش آنها در ایستگاه و محوطه‌های ورودی و خروجی، تجهیزات تهیه و کنترل بلیت و غیره به درستی و دقت طراحی شده باشد.

همچنین در چارچوب مطالعاتی که در زمینه تدوین ساختار مدل توزیع برای هماهنگی لحظه‌ای شبکه‌های حمل‌ونقل توسط [2] Bukkapatnam, Dessouky & Zhao انجام شد، با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی اقدام به کنترل و مدل‌سازی زمانبندی، اعزام و سر فاصله‌های زمانی برای شرایط مختلف بهره‌برداری از یک سیستم اتوبوسرانی شهری شد تا از طریق حداقل کردن هزینه‌های انتظار مسافران در طیف گسترده سیستم‌های حمل و نقل همگانی، یعنی چه آنهایی که وابسته به نرخ ورود مسافران به ایستگاه هستند و چه آنهایی که غیر وابسته به این نرخ ورود هستند (یعنی ورود مسافران به صورت اتفاقی صورت می‌پذیرد)، اقدام به تصمیم‌گیری مستقیم بر مبنای هزینه‌های انتظار حاشیه‌ای کرد.

نتایج مطالعات [3] Rudnicki در زمینه استفاده از مدل شبیه‌سازی برای ارزیابی قابلیت اعتماد به سیستم‌های حمل و نقل همگانی، بیانگر آن است که بایستی جریان تردد وسایل حمل و نقل همگانی با جریان ورود مسافران با یکدیگر سنجیده شده و سپس با اعمال پارامترهایی چون حداکثر ظرفیت ناوگان عمومی، سیستم بر مبنای متغیرهایی از جمله سرفاصله زمانی اعزام ناوگان، شبیه‌سازی شود.

1- مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی

شبیه‌سازی تقلیدی از عملکرد فرایند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است. شبیه‌سازی، صرف نظر از اینکه با دست یا به وسیله کامپیوتر انجام شود، به ایجاد ساختگی تاریخچه سیستم، و بررسی آن به منظور دستیابی به نتیجه‌گیری‌هایی در مورد ویژگی‌های عملکرد سیستم واقعی مربوط می‌شود.

یک سیستم عبارتست از مجموعه‌ای از اشیاء یا نهاده (Entity) و هریک از نهاده‌ها خود دارای یک یا چندین مشخصه (Attribute) می‌باشند. همچنانکه یک سیستم با گذشت زمان تکوین می‌یابد، رفتار آن با ایجاد مدل شبیه‌سازی بررسی می‌شود. این مدل معمولاً به شکل مجموعه‌ای از فرضیه‌های مربوط به عملکرد سیستم است. این فرضیه‌ها در چارچوب رابطه‌های ریاضی، منطقی و نمادین بین نهاده‌ها یا اهداف مورد نظر سیستم بیان می‌شود. با ایجاد و معتبر سازی مدل، می‌توان آن را برای تفحص درباره پرسش‌های بسیار گوناگونی از نوع «چه شود اگر» در مورد سیستم واقعی به کار برد. تغییرات انجام پذیر در سیستم را می‌توان ابتدا شبیه‌سازی کرد تا تاثیرشان بر عملکرد سیستم پیش بینی شود. شبیه‌سازی به منظور بررسی سیستم‌های در دست طراحی پیش از ایجاد آنها نیز کاربردپذیر است. پس، ایجاد مدل شبیه‌سازی، هم به منزله ابزار تحلیل برای پیش بینی تاثیر تغییرات سیستم‌های موجود و هم به عنوان ابزار طراحی برای پیش بینی عملکرد سیستم جدید در مجموعه‌های گوناگون شرایط کاربردپذیر است. [4]

1-1- موارد استفاده از شبیه سازی

مسئله یا مسائل مورد نظر در بررسی یک سیستم اغلب روش بررسی و حل آن را تعیین می کنند. روشهای تحلیل ریاضی هر جا که ممکن باشد، مطلوب ترین و دقیق ترین روش ها برای مطالعه سیستم ها می باشد، زیرا این روش معمولاً با کمترین کوشش، جوابها یا نتایجی را تولید می کنند که برای مقادیر مختلف پارامترهای مدل قابل محاسبه بوده و میزان دقت آنها صد در صد می باشد. اما جائیکه روشهای تحلیلی، بعلت پیچیدگی مدل ها یا نیاز به تولید واقعی تر رفتار سیستم غیر عملی است، روشهای مطالعه سیستم از طریق شبیه سازی مطرح می گردد. شبیه سازی به عنوان آزمایش کردن با مدل یک سیستم واقعی تعریف می شود.

مورد دیگر استفاده از شبیه سازی در شرایطی است که امکان آزمایش در دنیای واقعی وجود ندارد نظیر: سیستمی که هنوز ایجاد نشده است، وجود ریسک های زیاد و خطرناک و مواقعی که هزینه انجام آزمایش بالاست. [4]

1-2- زمینه های کاربرد شبیه سازی

از شبیه سازی در زمینه راه آهن برای مسائلی از قبیل طراحی سیستم های جدید، احداث خطوط جدید شامل احداث خط متناسب با بازار تقاضا و ظرفیت سنجی خط، بررسی سناریوهای مختلف برنامه ریزی زمانبندی، تأثیر احداث ایستگاه بر روی کل شبکه ریلی و نیز تجزیه و تحلیل سیستم های فعلی استفاده نمود؛ همچنانکه می توان از آن برای بررسی تأثیر تغییرات ناشی از تغییر در وضعیت خطوط، وضعیت عملکردی، ظرفیت و ... ایستگاهها، طراحی سیستم سرویس، تعمیرات و نگهداری خطوط و قطارها و برنامه زمانبندی حرکت بهره برد. [5]

1-3- سیستم و اجزاء سیستم

برای مدلسازی سیستم، درک مفهوم سیستم و مرز سیستم لازم است. سیستم را به منزله گروهی از اشیاء تعریف می کنند که در راستای تحقق مقصودی معین در چارچوب رابطه یا وابستگی متقابل منظم به هم پیوسته باشند. به منظور درک و تحلیل سیستم، معرفی چند واژه ضروری است: نهاد: عنصر، بخش با جزئی از سیستم است که در طول زمان عامل ایجاد تغییرات در سیستم است. نهادها معمولاً در سیستم جاری هستند و مورد پردازش قرار می گیرند. نهادها با در نظر گرفتن هدف مطالعه تعیین می شوند.

خصیصه: یک یا چند صفت از نهاد است که از هر نهاد به نهاد دیگر ممکن است متفاوت باشد، پارامترهای شبیه سازی تحت تاثیر آن بوده و برای فرآیند شبیه سازی مهم است.

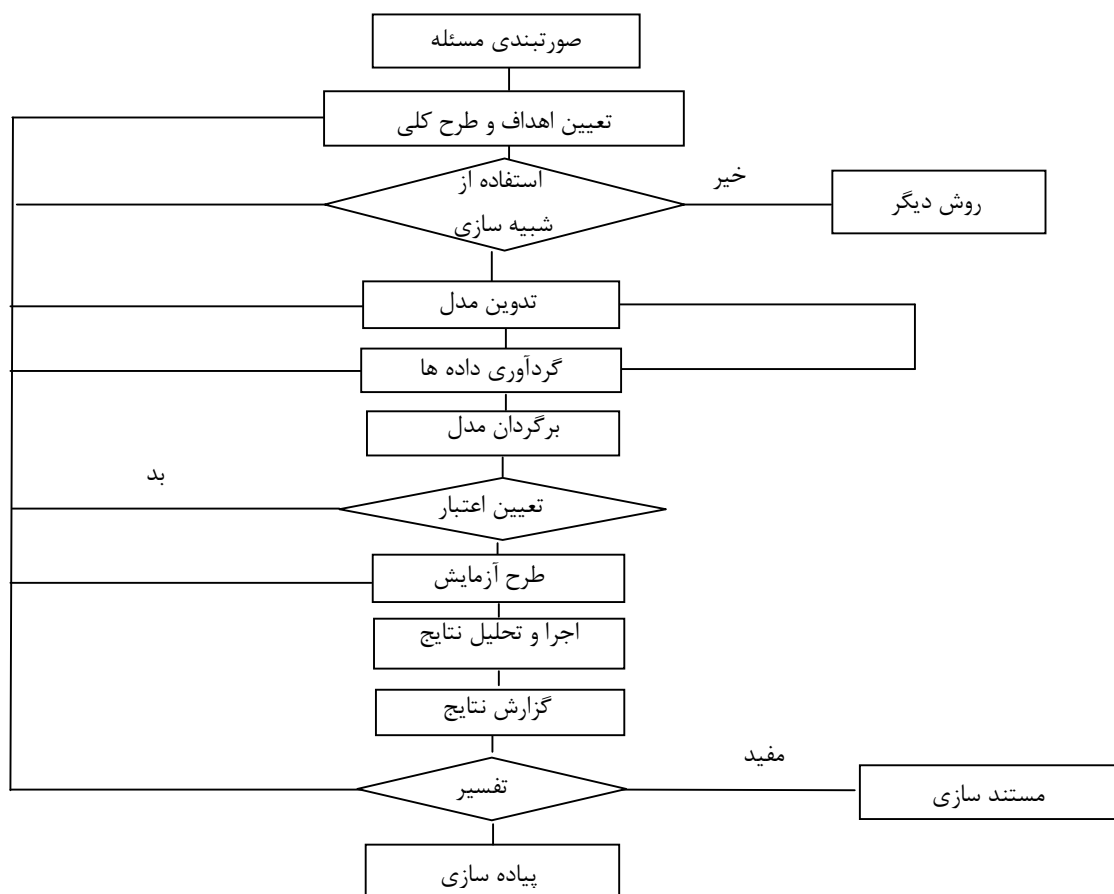
فعالیت: کاری که به واسطه آن نهاد در سیستم حضور دارد. یک کار از پیش تعیین شده است که بیان کننده آنچه برای نهاد اتفاق افتاده بوده و می تواند توسط نهاد انجام شود و یا روی نهاد انجام گیرد.

متغیر حالت: مجموعه ای از شاخص های کمی برای تشریح وضعیت سیستم در هر زمان، پیش بینی وضعیت آینده و ارزیابی سیستم است. شاخص عددی قابل اندازه گیری است و مستقیماً به هدف شبیه سازی برمی گردد.

پیشامد: رخدادی لحظه ای که می تواند متغیرهای حالت را تغییر دهد.[4]

2- تشریح فرآیند شبیه سازی

مراحل مطالعه و بررسی یک سیستم بوسیله فلوجارت زیر مشخص می گردد. هر یک از مراحل مذکور قدمهای اساسی ای هستند که شرح بیشتر برای آنها در ادامه خواهد آمد. از طرف دیگر مراحل تعیین شده فلوجارت جنبه کلی داشته و در برگیرنده همه انواع بررسی هایی است که شامل یک مدل می باشند، درحالیکه هدف در اینجا مطالعه روش شبیه سازی کامپیوتری است.[4]

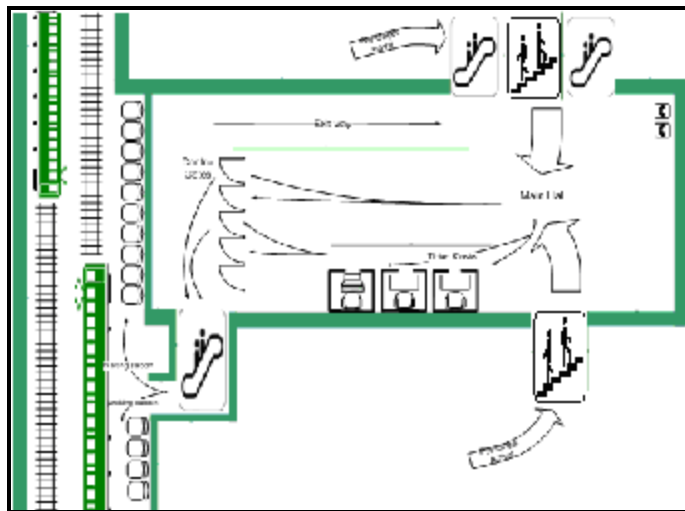


شکل (۱): گامهای اساسی در بررسی مبتنی بر شبیه سازی

2-1- تعریف مسئله و بیان اهداف

از آنجاییکه مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه یکی از شاخص های مهم در رضایتمندی مسافران از سیستم خدماتی مترو است لذا طراحی مدلی که بتواند این موضوع و پارامترهای آن را استخراج و تحلیل کند کمک بسزایی در دستیابی به رضایت مسافران خواهد کرد. همچنین می توان با این مدل زمانهای تلف شده مسافر را بررسی و در صورت امکان با طراحی آزمایش هایی عوامل آنرا جستجو کرده و با حذف یا به حداقل رساندن آنها سرویس دهی سیستم را بهبود بخشیم.

بدین منظور ایستگاه دانشگاه علم و صنعت جهت انجام مطالعه موردی و جمع آوری اطلاعات انتخاب گردید. این ایستگاه در مسیر خط 2 مترو واقع بوده و در زمان انجام مطالعه در اردیبهشت ماه 87 ایستگاه انتهایی مسیر بوده است. طول این ایستگاه 142 متر، عرض آن 14 متر، مساحت آن 9240 متر مربع و در بزرگراه رسالت، چهار راه دردشت واقع شده است. ایستگاه دانشگاه علم و صنعت یک ایستگاه زیر زمینی در 2 طبقه بوده که اختلاف ارتفاع روی ریل آن از سطح زمین 12.3 متر می باشد. ایستگاه مورد نظر دارای دو ورودی، 2 باجه برای فروش بلیت مغناطیسی و 1 باجه جهت فروش بلیت اعتباری و 5 گیت کنترل بلیت است.



شکل (2): چیدمان فعلی ایستگاه

در این مقاله سعی شده است با استفاده از ابزار شبیه سازی و طراحی سناریوهای مختلف به برآورد مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه، تعیین متوسط طول صف ها، بررسی متوسط زمان انتظار در صف ها و در نهایت بررسی رفتار مدل در سناریوهای تعریف شده پرداخته شود.

2-2- اجزاء سیستم

جدول (1): اجزاء سیستم مورد مطالعه

نهاد	خصیصه	فعالیت	متغیر	پیشامد	متغیر حالت	منبع	صف
مسافر	زمان ورود به سیستم، همراه داشتن یا نداشتن بلیت، نوع بلیت مورد استفاده، سرعت حرکت در سطح ایستگاه	خرید بلیت، عبور از گیت، سوار شدن به قطار (خروج از سیستم)	تعداد مسافر وارد شده به ایستگاه در هر ساعت، زمان شبیه سازی، هدوی قطار	ورود مسافر به سیستم، خرید بلیت، عبور مسافر از خروج مسافر از سیستم، ورود قطار به سکو، خروج مسافر از سیستم	مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه، مدت زمان انتظار مسافر در صف ها، متوسط طول صف ها، مدت زمان انتظار مسافر در سکو	اپراتورها، ی فروش بلیت مغناطیسی و اعتباری، گیت های کنترل بلیت	تعداد مسافران در صف خرید بلیت مغناطیسی، تعداد مسافران در صف خرید بلیت اعتباری، تعداد مسافران در صف عبور از گیت ها، تعداد مسافران منتظر روی سکو

2-3- جمع آوری و تحلیل داده های ورودی

2-3-1- جمع آوری اطلاعات

مسافران از محل ورود از سطح خیابان تا استقرار بر روی سکو، از مقاطع مختلفی عبور می کنند که عبارت اند از: ورود با توابع توزیع متفاوت در ساعتهای مختلف روز، پیاده روی از درب ورودی ایستگاه در سطح خیابان تا سالن اصلی، تهیه بلیت (به تفکیک داشتن یا نداشتن بلیت مغناطیسی و بلیت اعتباری)، پیاده روی در داخل ایستگاه برای طی مسیر تا رسیدن به گیت های کنترل بلیت، طی مسیر از گیت های کنترل بلیت تا استقرار روی سکو و در انتظار به سر بردن جهت ورود قطار و سوار شدن به آن و در نهایت خروج از سیستم می باشد. در این بخش بر مبنای شاخص های شناسایی شده اثر گذار بر زمان انتظار مسافران در محیط مطالعات موردی ایستگاه علم و صنعت، اقدام به بررسی های میدانی و آمارگیری از موارد زیر شده است:

1. جمع آوری داده های مسافران ورودی به ایستگاه

2. جمع آوری داده های مدت زمان خدمتدهی اپراتورهای فروش بلیت

3. جمع آوری داده های زمان عملکرد گیت های کنترل بلیت

4. زمان پیاده روی از محل ورود به ایستگاه تا سالن اصلی

5. زمان پیاده روی از سالن اصلی تا گیت کنترل بلیت

6. زمان پیاده روی از سالن اصلی تا باجه های فروش بلیت

7. زمان پیاده روی از باجه های فروش بلیت تا گیت کنترل بلیت

8. زمان پیاده روی از محل گیت های کنترل بلیت تا روی سکو

2-3-2- تحلیل داده ها

جهت مطالعه استقلال و ثبات مشاهدات، داده ها ابتدا در نرم افزار Minitab بررسی شدند و چنانچه داده ها مستقل و یا با ثبات نبودند، مجدداً نسبت به گرفتن نمونه ها اقدام شد. مبنای سنجش $P_Value < 0.05$ بوده است.

جهت تخصیص تابع توزیع به هر یک از مشاهدات صورت گرفته از نرم افزار Autofit برای استفاده در نرم افزار Enterprise Dynamics 7 1 استفاده شد.

درنهایت توابع زیر از نرم افزار یاد شده حاصل شده اند:

جدول (2): توابع توزیع مسافران ورودی به ایستگاه

تابع توزیع بدست آمده از نرم افزار Auto fit	ساعت ورود به ایستگاه
(2.31,Logistic(4.08,0.98))	5_6
(0.91,Weibull(0.05,1.70))	6_7
(0.56,Lognormal(0.02,0.01))	7_8
(0.63,Normal(0.02,0.01))	8_9
(0.82,Beta(0.04,1.00,0.80))	9_10
(1.04,Normal(0.07,0.05))	10_11
(1.10,Logistic(0.39,0.10))	11_12
(1.59,Normal(0.13,0.05))	12_13
(1.79,Normal(0.18,0.09))	13_14
(1.53,Uniform(0.01,0.55))	14_15
(1.53,Normal(0.20,0.12))	15_16
(1.38,Normal(0.18,0.09))	16_17
(1.37,Lognormal(0.09,0.13))	17_18
(1.42,Pearson5(0.12,3.30))	18_19
(1.78,Lognormal(0.11,0.09))	19_20
(2.54,Normal(0.29,0.16))	20_21
(4.13,Logistic(0.51,0.26))	21_22
(13.48,Logistic(2.23,1.72))	22_23

¹. نرم افزار استفاده شده جهت ساخت و اجرای مدل شبیه سازی

جدول (3): توابع خدمت‌دهی گیت‌ها

شماره گیت	تابع خدمت‌دهی گیت‌ها بدست آمده از نرم افزار Autofit
1	(1.09, Erlang(1.41, 3.00))
2	(1.23, Weibull(1.26, 1.70))
3	(1.09, Erlang(1.45, 4.00))
4	(1.23, Lognormal(1.26, 0.84))
5	(1.23, Gamma(1.44, 3.90))

جدول (4): توابع خدمت‌دهی ایپراتورها

نوع ایپراتور	تابع خدمت‌دهی ایپراتورها بدست آمده از نرم افزار Auto fit
ایپراتور فروش بلیت اعتباری	(1.15, Gamma(0.77, 7.80))
ایپراتور فروش بلیت مغناطیسی	(0.95, Normal(0.94, 0.29))
ایپراتور فروش بلیت مغناطیسی	(1.08, Beta(0.79, 2.70, 2.00))

2-4- ساخت و اجرای مدل

2-4-1- مفروضات مدل

در فرآیند مدل‌سازی برخی از اطلاعات بصورت پیش فرض در مدل وارد شد:

• برنامه حرکت قطارها.

• درصد مسافرانی که روزانه هر یک از انواع بلیت را تهیه می‌کنند ثابت در نظر گرفته شد.

• در مدل مسافران خروجی از ایستگاه در نظر گرفته نشده‌اند.

• از فعال نبودن ایپراتورهای فروش در برخی زمان‌ها صرف نظر شده است.

• هیچ محدودیتی برای ظرفیت سکو لحاظ نگردید.

• تمام صف‌ها در مدل از قانون First In First Out پیروی می‌کنند.

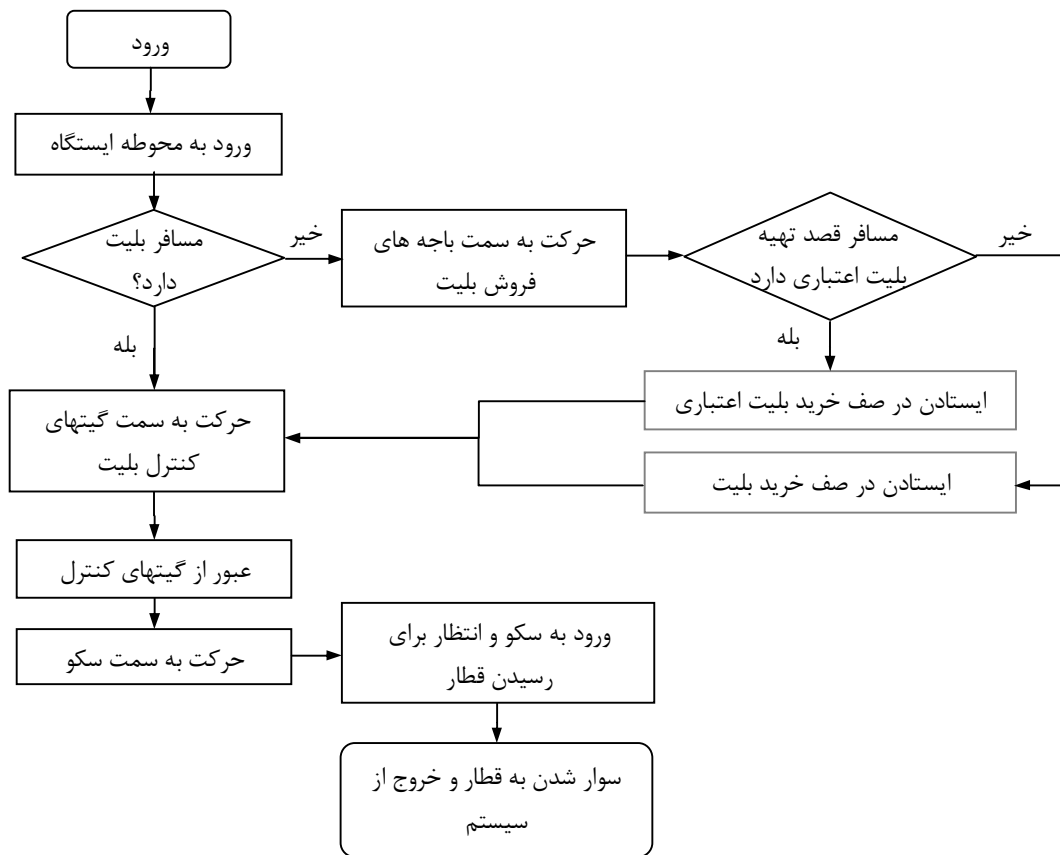
2-4-2- الگوریتم مدل:

منطق ورود مسافران از محل ورود از سطح خیابان تا استقرار مسافر بر روی سکوی اعزام، شامل مقاطع مختلفی است که عبارت از (1) تهیه بلیت (به تفکیک داشتن یا نداشتن بلیت و کارت اعتباری)، (2) پیاده‌روی در داخل ایستگاه برای طی مسیر تا استقرار روی سکو و (3) در انتظار به سر بردن جهت ورود قطار و سرویس‌گیری می‌باشد.

به طور کلی، مسافرانی که وارد ایستگاه می‌شوند دو دسته هستند:

- کسانی که قصد تهیه بلیت دارند و به این منظور به سمت باجه‌های فروش بلیت حرکت می‌کنند و پس از تهیه بلیت مورد نظرشان (اعم از عادی یا اعتباری) به طرف گیت‌های کنترل بلیت می‌روند.

- کسانی که نیازی به تهیه بلیت نداشته و مستقیماً به سمت گیت های کنترل بلیت می روند. در گیت کنترل بلیت، هر مسافر بلیت خود را برای کنترل در دستگاه قرار داده و دستگاه پس از کنترل اعتبار بلیت، عبور را آزاد می کند. از آنجا که ایستگاه علم صنعت در زمان انجام کار در اردیبهشت ماه 87 در ابتدای مسیر واقع شده، تمامی مسافران جهت سوار شدن به قطار از پلکان غربی استفاده می نمایند. در پایین پلکان سکوی انتظار مسافرین قرار دارد. چنانچه قطار در ایستگاه آماده باشد، مسافران می توانند سوار شوند و در غیراین صورت، می بایست تا رسیدن قطار بعدی در سکو منتظر بمانند.



شکل (3): فلوچارت منطق الگوریتم

جهت انجام شبیه سازی و ساخت مدل، از نرم افزار پرکاربرد Enterprise Dynamics7 استفاده شد که دارای قابلیت های بسیار زیادی در امر شبیه سازی می باشند. پس از ساخت، مدل شبیه سازی به مدت 40 دوره 18 ساعته اجرا و نتایج بررسی گردید. بر اساس نتایج متوسط زمان حضور مسافر در ایستگاه در ساعات مختلف روز مطابق جدول زیر است:

جدول (5): مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه در ساعات مختلف

ساعت ورود به ایستگاه	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14
متوسط زمان حضور	731.45	391.91	782.76	1215.11	1516.46	1668.15	337.46	341.09	324.64
ساعت ورود به ایستگاه	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23
متوسط زمان حضور	350.78	337.47	317.87	321.28	304.93	353.49	371.69	473.64	450.00

2-5- اعتبارسنجی مدل

تنها روشی که به نظر می رسد مبین اعتبار مدل می باشد مقایسه نتایج بدست آمده از مدل با دنیای واقعی است بدین صورت که ابتدا مدل را با اطلاعات جمع آوری شده اجرا می کنیم و سپس نتایج حاصله را با اطلاعات واقعی مقایسه می نمائیم.

همانطور که پیشتر اشاره شد، نمونه گیری میدانی از مسافران ورودی به ایستگاه، مدت زمان خدمتدهی اپراتورهای فروش بلیت، زمان عملکرد گیت های کنترل بلیت، زمان پیاده روی از محل ورود به ایستگاه تا سالن اصلی، زمان پیاده روی از سالن اصلی تا گیت کنترل بلیت، زمان پیاده روی از سالن اصلی تا باجه های فروش بلیت، زمان پیاده روی از باجه های فروش بلیت تا گیت کنترل بلیت، زمان پیاده روی از محل گیت های کنترل بلیت تا روی سکو صورت گرفت است.

میانگین تعداد مسافران وارد شده به ایستگاه در پایان یک روز عادی با توجه به آمار رسمی مترو 45310 نفر می باشد.

میانگین تعداد مسافر وارد شده به داخل سیستم در نرم افزار ED ، 45240 نفر می باشد. اختلاف نتایج واقعی و نتایج حاصل از شبیه سازی به شرح زیر است:

$$0.15\% = (45310 - 45240) / 45310$$

بر اساس نمونه گیری های انجام شده، در شرایط واقعی متوسط طول صف های تشکیل شده پشت گیت های کنترل بلیت در حدود 8.54 نفر و میانگین طول صف های تشکیل شده پشت گیت های کنترل بلیت حاصل شده از شبیه سازی معادل 7.69 نفر بوده است. اختلاف نتایج واقعی و نتایج حاصل از شبیه سازی به صورت زیر است:

$$10\% = (8.54 - 7.69) / 8.54$$

با توجه به تفاوت های قابل قبول مدل شبیه سازی با شرایط واقعی می توان چنین نتیجه گرفت که خروجی های حاصل از مدل شبیه سازی با شرایط واقعی انطباق مناسبی دارد.

2-6- طراحی آزمایشات و تحلیل نتایج حاصل از آنها

همانطور که در نمودار زیر مشاهده می شود، در مدت حضور مسافر در ایستگاه بیشترین زمان وی در عبور از گیت، حضور روی سکو و حرکت در سطح ایستگاه صرف می شود. از آنجا که زمان های حرکت مسافر در سطح ایستگاه ارتباط مستقیم با محل قرار گرفتن درهای ورودی، ارتفاع از سطح زمین، چیدمان ایستگاه و مساحت ایستگاه دارد و هر کدام از این پارامترها غیر قابل تغییر میباشند، طراحی سناریو جهت بررسی تغییرات حاصل از آن منطقی به نظر نمی رسد لذا در ادامه این مبحث به طراحی سناریوهایی جهت کاهش زمان عبور از گیت و حضور روی سکو می پردازیم.



شکل (4). زمان صرف شده مسافر برای هر یک از فعالیتها

سناریوی اول: در این سناریو پس از افزودن یک گیت کنترل بلیت به سیستم، مشخص شد که با اعمال این تغییر به میزان 15% از مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه و همچنین 34% از مدت زمان انتظار مسافر در صف های عبور از گیت کاسته شد.

سناریوی دوم: در این سناریو پس از کاهش هدوی قطارها به میزان یک دقیقه در تمام بازه های زمانی یک ساعته، مشخص شد که با اعمال این تغییر به میزان 10% از مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه و همچنین 22% از مدت زمان انتظار مسافر در سکو کاسته شد.

سناریوی سوم: در این سناریو همزمان با کاهش هدوی قطارها به میزان یک دقیقه در تمام بازه های زمانی یک ساعته، یک گیت نیز به سیستم افزوده ایم. در انتها مشخص شد که با اعمال این تغییر به

میزان 21% از مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه، 9% از مدت زمان انتظار مسافر در صف های عبور از گیت و نیز 22% از مدت زمان انتظار مسافر در سکو کاسته شد.

3- نتیجه گیری

در این مقاله ضمن ساخت مدلی برای شبیه سازی جریان حرکت مسافری رفتار سیستم حمل و نقلی مترو با شرایط متغیر نظیر تغییر تعداد گیت، تغییر در زمان هدوی یا تغییر همزمان دو عامل مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه سازی شده نشان داد که صرف نظر از تمامی هزینه های افزایش گیت و یا کاهش زمان هدوی، اضافه کردن یک گیت در مقایسه با کاهش هدوی تاثیر چشمگیری در کاهش مدت زمان حضور مسافر در ایستگاه و همچنین زمانهای انتظار وی خواهد داشت. بدیهی است با اضافه شدن عامل هزینه، که یک عنصر اساسی در تصمیم گیری ها محسوب می شود، بررسی نتایج با دقت بالاتری انجام خواهد گرفت.

مدل ارائه شده می تواند مورد استفاده شرکت مترو برای تحلیل شرایط مختلف، تغییر در چیدمان ایستگاه، استفاده از تجهیزات جدید مانند ماشین های خودکار فروش بلیت، همچنین ارزیابی ایستگاه های مشابه قرار گیرد.

4- منابع و مأخذ

1. Janice P.Li, "Train station passenger flow study", proceedings of the 2000 winter simulation conference, New York, NJ, U.S.A.
2. Bukkapatnam, Satish, Dessouky, Maged and Zhao, Jiamin: "Distributed architecture for real-time coordination in transit Networks", METRANS, Department of Industrial and systems Eng. , University of Southern California, Los Angeles, 2003
3. Rudnicki, andrzej "Investigation by computer simulation some aspect of transportation service reliability in urban public transport", Cracow university of Technology , 2003
4. "شبیه سازی سیستمهای گسسته - پیشامد"، جری بنکس، جان کارسن، ترجمه: هاشم محلوجی، چاپ چهارم، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف 1384
5. www.simaron.com