



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی صنایع

درس اصول شبیه سازی

عنوان پروژه

شبیه سازی مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی

نگارش

احسان چشمی ۹۶۱۰۴۱۴۹

استاد درس

خانم دکتر نفیسه صدقی

بهار ۱۴۰۱

چکیده

هدف از انجام این پروژه مدل سازی مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی با استفاده از شبیه سازی گسسته پیشامد می باشد. مشتریان این مرکز به دو دسته عادی و ویژه تقسیم می شوند که در صف های جداگانه با اولویت مشتریان ویژه قرار می گیرند. سه نوع کارشناس در این مرکز وجود دارد: کارشناسان تازه کار که تنها به مشتریان عادی خدمت می دهند، مشتریان خبره که در صورت بیکاری می توانند به کارشناسان عادی نیز خدمت دهند اما مشتریان ویژه تنها ازین نوع کارشناس خدمت می گیرند، و کارشناسان تیم فنی که تنها در صورت نیاز به خدمت فنی پس از خدمت اولیه به مشتری رسیدگی می کنند. همچنین دردی از مشتریانی که صفی با طول ۴ یا بیشتر مقابل خود می بینند، از قابلیت تماس مجدد استفاده می کنند. بدین معنی که صف را ترک کرده و کارشناسان در زمان فراغت با آنها تماس می گیرند.

در فصل اول پروژه توصیف ایستا و توصیف پویایی از سیستم و معیارهای ارزیابی عملکرد ارائه می شود. در فصل دوم ابتدا تخمینی از زمان خدمت دهی کارشناسان زده می شود و سپس شبیه سازی توصیف شده در فصل یک در محیط برنامه نویسی پایتون پیاده سازی و خروجی های آن بررسی می گردد. در فصل سوم ابتدا تغییراتی در شبیه سازی داده می شود و قابلیت تماس مجدد حذف شده و میانگین زمان بین ورود مشتریان تغییر می کند. سپس سیستم جایگزینی با میانگین زمان خدمت کارشناسان تازه کار و خبره کمتر و تعداد کارشناسان تازه کار کمتر پیشنهاد می شود و این دو سیستم با یکدیگر مقایسه می شوند. نتیجه مقایسه پیشنهاد سیستم دوم برای جایگزینی سیستم یک است.

در انتها با بررسی خروجی های سیستم پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد سیستم داده می شود.

فهرست مطالب

چکیده.....	أ
فهرست مطالب.....	ب
فهرست جداول.....	د
فهرست نمودارها.....	هـ
فصل اول.....	۱
۱-۱ تعریف مساله.....	۱
۲-۱ فرضیات و ساده‌سازی‌ها.....	۲
۳-۱ مدل‌سازی و توصیف ایستای سیستم.....	۳
۱-۳-۱ نهاد.....	۳
۲-۳-۱ متغیرهای حالت.....	۳
۳-۳-۱ پیشامدها.....	۴
۴-۱-۱ فعالیت‌ها.....	۵
۵-۱-۱ تأخیرها.....	۶
۶-۱-۱ آماره‌های تجمعی.....	۶
۲-۱ توصیف پویای سیستم.....	۷
۳-۱ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم.....	۱۶
۴-۱ لیست پیشامدهای آتی در لحظه شروع.....	۱۷
فصل دوم.....	۱۸
۱-۲ تخمین توزیع‌های زمان خدمت‌دهی کارشناسان.....	۱۸
۱-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان متخصص.....	۱۸
۲-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار.....	۱۹
۳-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی.....	۱۹
۲-۲ پیاده‌سازی شبیه‌سازی.....	۲۰

۲۱ ۱-۲-۲ تحلیل خروجی ها
۲۲ ۲-۲-۲ برآورد فاصله ای خروجی ها
۲۲ ۳-۲-۲ تحلیل حساسیت خروجی ها
۲۳ فصل سوم
۲۳ ۱-۳ اصلاح سیستم
۲۳ ۲-۳ تحلیل حالت سرد و گرم سیستم ۱
۲۴ ۳-۳ مقایسه سیستم ها
۲۵ ۴-۳ سیاست های بهبود

فهرست جداول

جدول ۱: متغیرهای حالت	۴
جدول ۲: پیشامدها	۵
جدول ۳: فعالیت‌ها	۵
جدول ۴: آماره‌های تجمعی	۶
جدول ۵: خروجی‌های شبیه‌سازی	۲۰
جدول ۶: خروجی‌های همانندسازی‌های مستقل شبیه‌سازی	۲۲
جدول ۷: معیارهای ارزیابی برای سیستم ۱ و ۲	۲۵

فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۱: نمودار جریان پیشامد ورود مشتری..... ۸
- نمودار ۲-۱: نمودار جریان پیشامد ترک صف توسط مشتری..... ۹
- نمودار ۳-۱: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص..... ۱۰
- نمودار ۴-۱: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس تازه‌کار..... ۱۱
- نمودار ۵-۱: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس فنی..... ۱۲
- نمودار ۶-۱: نمودار جریان پیشامد پایان شیفت..... ۱۳
- نمودار ۷-۱: نمودار جریان پیشامد پایان روز..... ۱۴
- نمودار ۸-۱: نمودار جریان پیشامد پایان ماه..... ۱۵
- نمودار ۱-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان متخصص..... ۱۸
- نمودار ۲-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار..... ۱۹
- نمودار ۳-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی..... ۲۰
- نمودار ۱-۳: خروجی شبیه‌سازی در یک دوره‌ی ۴۰ روزه..... ۲۴

فصل اول

۱-۱ تعریف مساله

هدف از این پروژه ارزیابی عملکرد مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی با رویکرد شبیه سازی سیستم است. در این مرکز تماس دو کارشناس متخصص و سه کارشناس تازه کار آماده پاسخگویی به تماس های مشتریان در هر ساعت شبانه روز به صورت سه شیفت ۸ ساعته می باشند. زمان خدمت دهی این دو دسته کارشناس به ترتیب از توزیع D_1 و D_2 پیروی می کند. همچنین سوال ۱۵ درصد از مشتریان به بررسی تیم فنی فروشگاه نیاز دارد که بدین منظور دو کارشناس تیم فنی برای خدمت دهی حاضر هستند. زمان خدمت دهی کارشناسان تیم فنی از توزیع D_3 پیروی می کند.

مشتریان به دو دسته کاربر ویژه^۱ و عادی تقسیم می شوند. کاربران ویژه ۳۰ درصد از تمام کاربران را تشکیل می دهند و تنها از کارشناسان متخصص خدمت می گیرند. اولویت تخصیص کاربران عادی به کارشناسان تازه کار است اما در صورتی که تمام کارشناسان تازه کار مشغول باشند و کاربر ویژه ای در صف نباشد ارتباط کاربران عادی با کارشناسان متخصص منعی ندارد.

^۱ VIP

توزیع ورود مشتریان در شیفت‌های مختلف متفاوت است و به ترتیب در شیفت‌های اول تا سوم از توزیع پواسون^۱ با میانگین $\frac{1}{3}$ ، ۱ و $\frac{1}{3}$ پیروی می‌کند. همچنین یک روز در ماه به صورت تصادفی این فروشگاه با اختلال شبکه مواجه شده و نرخ ورود در شیفت‌های اول تا سوم به ترتیب به $\frac{1}{3}$ ، ۲ و ۱ نفر در دقیقه افزایش می‌یابد. کاربران پس از ورود به صف و مشخص شدن جایگاهشان امکان استفاده از گزینه تماس مجدد^۲ را دارند، بدین معنی که تماس را قطع می‌کنند تا کارشناسان در شیفت دوم یا سوم در اولین فرصتی که کاربری در صف حاضر نبود با آن‌ها تماس بگیرند. همچنین ۱۵ درصد از کاربرانی که از تماس مجدد استفاده نمی‌کنند، پس از مدتی که از توزیع یکنواخت با پارامترهای ۵ و x دقیقه پیروی می‌کند صف را ترک می‌کنند که در اینجا x برابر است با ماکزیمم ۲۵ و طول صفی که فرد مقابل خود مشاهده می‌کند.

۱-۲ فرضیات و ساده‌سازی‌ها

- در طی مدل‌سازی برای رفع برخی ابهامات موجود در مساله و گاه‌آ ساده‌سازی یک سری فرضیات به شرح زیر در نظر گرفته شده است.
- با توجه به سازوکار شبیه‌سازی در تعیین ترک یا عدم ترک صف توسط کاربر فرض بر این گرفته شده که منظور مساله این بوده که ۱۵ درصد مشتریان قصد ترک صف می‌کنند تا خروجی شبیه‌سازی از لحاظ آماری مشکلی نداشته باشد.
 - در صورت مساله برای بیان شرط استفاده از تماس مجدد دو عبارت کاربرانی که «تعداد مشتریان هم‌نوع جلوی آن‌ها در صف بیشتر از ۴ باشد» از تماس مجدد استفاده می‌کنند و در صورتی که «جایگاهشان در صف کمتر یا مساوی ۴ باشد» از این امکان استفاده نمی‌کنند، به کار برده شده که هیچ کدام از این دو شرط حالتی که جایگاهشان در صف برابر ۵ یا به عبارت دیگر ۴ نفر مشتری هم‌نوع مقابلشان باشد را پوشش نمی‌دهد. لذا تنها شرط اول در نظر گرفته شده و در صورتی که مشتریان هم‌نوع جلوی آن‌ها در صف کمتر یا مساوی ۴ باشد یا به عبارت دیگر جایگاهشان در صف کمتر یا مساوی ۵ باشد از تماس مجدد استفاده نمی‌کنند.
 - در برقراری تماس مجدد از مرکز تماس به مشتریان فرض بر این شده که تمام مشتریانی که با آن‌ها تماس گرفته می‌شود به این تماس پاسخ می‌دهند.
 - در صورت نیاز یک کاربر به بررسی تیم فنی، فرض شده که ابتدا کاربر به تیم فنی ارجاع داده می‌شود و سپس به کارشناس اولیه، مشتری - در صورت وجود - تخصیص داده می‌شود.

¹ Poisson

² Call-back

- طول همه‌ی ماه‌ها ۳۰ روز فرض شده‌است.

۳-۱ مدل‌سازی و توصیف ایستای سیستم

برای مدل‌سازی این مساله از شبیه‌سازی گسسته پیشامد^۱ استفاده شده‌است. در ادامه اجزای شبیه‌سازی به ترتیب تعریف شده و شرح داده می‌شود.

۳-۱-۱ نهاد^۲

نهادهای در مدل بر اساس ساختار مساله و اهداف شبیه‌سازی انتخاب می‌شوند. در این مساله مشتری/کاربر تنها نهاد شبیه‌سازی است و با توجه به اینکه بین دو کارشناس از یک نوع تفاوتی وجود ندارد و بررسی هر کارشناس به صورت مستقل مطلوب مساله نبوده، کارشناسان به عنوان نهاد در نظر گرفته نمی‌شوند. هر مشتری در لحظه ورود با نماد C_i مشخص می‌شود که i بیانگر شماره مشتری است. همچنین دو خصیصه^۳ با نماد های $type$ که نشانگر نوع مشتری به صورت صفر یا یک (صفر بیانگر مشتری عادی و یک بیانگر مشتری ویژه) و t که نشانگر زمان ورود مشتری به سیستم است به آن تخصیص می‌یابد.

۳-۱-۲ متغیرهای حالت^۴

متغیرهای حالت وضعیت سیستم در هر لحظه را بیان می‌کنند. در این شبیه‌سازی ۱۳ متغیر حالت تعریف شده که عبارتند از: $LQ_i(t)$ که طول صف i در لحظه t را بیان می‌کند و به ازاء مقادیر ۱ تا ۴ برای i به ترتیب به صف مشتریان ویژه برای خدمت اولیه، صف مشتریان عادی برای خدمت اولیه، صف مشتریان ویژه برای بررسی فنی و صف مشتریان عادی برای بررسی فنی اشاره دارد، $CQ_i(t)$ که به ازاء i برابر با ۱ به صف مشتریان ویژه در انتظار تماس مجدد و به ازاء i برابر با ۲ به صف مشتریان عادی در انتظار تماس مجدد اشاره دارد، سه متغیر $NS(t)$ ، $ES(t)$ و $TS(t)$ که به ترتیب تعداد کارشناسان متخصص، تازه کار و فنی در حال خدمت‌دهی در لحظه t را بیان می‌کنند، متغیر $Shift(t)$ که شماره شیفت کاری (از ۱ تا ۳) در لحظه t را بیان می‌کند، متغیر $Day(t)$ که شماره روز از ماه جاری در لحظه t (از ۱ تا ۳۰) را بیان می‌کند، $Disruption(t)$ که وضعیت اختلال در لحظه t (صفر نشانگر عدم اختلال و یک نشانگر اختلال) را بیان می‌کند، $disruption_day$ که روزی از ماه جاری که اختلال در آن رخ می‌دهد را نشان می‌دهد و در ابتدای هر ماه به صورت تصادفی تعیین می‌شود. خلاصه نمادها و تعاریف متغیرهای حالت در جدول ۱ قابل مشاهده است.

¹ Discrete Event Simulation

² Entity

³ Attribute

⁴ State variables

جدول ۱: متغیرهای حالت

نماد	تعریف	مقادیر
$LQ_1(t)$	طول صف مشتریان ویژه برای خدمت اولیه در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$LQ_2(t)$	طول صف مشتریان عادی برای خدمت اولیه در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$LQ_3(t)$	طول صف مشتریان ویژه برای خدمت فنی در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$LQ_4(t)$	طول صف مشتریان عادی برای خدمت فنی در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$CQ_1(t)$	طول صف مشتریان ویژه برای تماس مجدد در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$CQ_2(t)$	طول صف مشتریان عادی برای تماس مجدد در لحظه t	عدد صحیح نامنفی
$ES(t)$	تعداد کارشناسان متخصص مشغول به خدمت در لحظه t	$0, 1, 2$
$NS(t)$	تعداد کارشناسان تازه کار مشغول به خدمت در لحظه t	$0, 1, 2, 3$
$TS(t)$	تعداد کارشناسان فنی مشغول به خدمت در لحظه t	$0, 1, 2$
$Shift(t)$	شماره شیفت در لحظه t	$1, 2, 3$
$Day(t)$	شماره روز در ماه در لحظه t	$[1, 30]$
$Disruption(t)$	وضعیت اختلال در لحظه t	$0, 1$
$disruption_day$	شماره روزی از ماه که اختلال رخ می‌دهد	$[1, 30]$

۱-۳-۳ پیشامدها^۱

پیشامد به هر اتفاقی گفته می‌شود که وضعیت سیستم را تغییر دهد. در این مدل‌سازی ۸ پیشامد به شرح زیر

تعریف شده است:

- پیشامد ورود مشتری i ام یا به عبارتی رخ دادن تماس توسط مشتری i ام
- پیشامد ترک صف توسط مشتری i ام
- پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص به مشتری i ام
- پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس تازه کار به مشتری i ام
- پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس فنی به مشتری i ام
- پیشامد پایان شیفت
- پیشامد پایان روز
- پیشامد پایان ماه

¹ Events

در جدول ۲ نماد و توصیف و ساختار اعلان پیشامدها^۱ نمایش داده شده است.

جدول ۲: پیشامدها

نماد	تعریف	اعلان پیشامد
<i>Arrival</i>	<i>Arrival of customer i call</i>	$(Arrival, t, C_i)$
<i>Abandon</i>	<i>customer i Abandons the line</i>	$(Abandon, t, C_i)$
<i>EoES</i>	<i>End of expert operator's service to customer i</i>	$(EoES, t, C_i)$
<i>EoNS</i>	<i>End of normal operator's service customer i</i>	$(EoNS, t, C_i)$
<i>EoTS</i>	<i>End of technical operator's service customer i</i>	$(EoTS, t, C_i)$
<i>EoS</i>	<i>End of the shift</i>	(EoS, t)
<i>EoD</i>	<i>End of the day</i>	(EoD, t)
<i>EoM</i>	<i>End of the month</i>	(EoM, t)

۱-۱-۴ فعالیت‌ها^۲

فعالیت‌ها در شبیه‌سازی به به یک بازی زمانی با طول مشخص اشاره می‌کنند که مدت زمان آن‌ها پس از مشخص شدن زمان شرویشان تعیین می‌شود. در این شبیه‌سازی مدت زمان بین ورود مشتریان، مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص، مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس تازه‌کار، مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس فنی، مدت زمان انتظار در صف قبل از ترک صف و فاصله زمانی روز اختلال در شبکه از ابتدای ماه را به عنوان فعالیت‌های مدل‌سازی تعریف می‌کنیم. همچنین مدت زمان هر شیفت را می‌توان یک فعالیت با طول ثابت ۸ ساعت در نظر گرفت. در جدول ۳ فعالیت‌ها با طول تصادفی به همراه نماد استفاده شده برای آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳: فعالیت‌ها

نماد	فعالیت
a^*	مدت زمان بین ورود مشتریان
s_1^*	مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص
s_2^*	مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس تازه‌کار
s_3^*	مدت زمان خدمت‌دهی توسط کارشناس فنی
w^*	مدت زمان انتظار در صف قبل از ترک صف
d^*	فاصله زمانی روز اختلال در شبکه از ابتدای ماه

¹ Event Notice

² Activities

۱-۱-۵ تأخیرها^۱

تأخیرها به فواصل زمانی با طول نامشخص گفته می‌شود که تا این بازه‌ی زمانی به پایان نرسد طول آن مشخص نخواهد شد. در این شبیه‌سازی مدت زمان انتظار در هر یک از چهار صف سیستم یک تأخیر محسوب می‌شود.

۱-۱-۶ آماره‌های تجمعی^۲

آماره‌های تجمعی برای محاسبه معیارهای مطلوب شبیه‌سازی و در طول شبیه‌سازی جمع‌آوری می‌شوند. این آماره‌ها و کاربرد آن‌ها در جدول ۴ آورده شده‌است.

جدول ۴: آماره‌های تجمعی

توضیحات	نحوه محاسبه	آماره
۳ آماره برای ۳ نوع کارشناس	مجموع زمان مشغول به کار هر گروه از کارشناسان	<i>Server Busy Time</i>
۶ آماره برای ۶ صف	مجموع زمان انتظار مشتریان در هر صف	<i>Queue Waiting Time</i>
۶ آماره برای ۶ صف	مساحت زیر نمودار طول صف بر حسب زمان	<i>Area Under QL Curve</i>
۶ آماره برای ۶ صف	تعداد افرادی که از هر صف شروع به دریافت خدمت می‌کنند	<i>Service Starters</i>
–	تعداد کل مشتریان ویژه	<i>Total Number of VIP Customers</i>
–	تعداد کل مشتریان عادی	<i>Total Number of Normal Customers</i>
–	تعداد مشتریان ویژه که از تماس مجدد استفاده نمی‌کنند	<i>Number of VIP Customers Not Using Call-back</i>
–	تعداد مشتریان ویژه که هرگز منتظر نمی‌مانند	<i>Number of VIP Customers Not Waiting</i>
–	تعداد مشتریان عادی که از کارشناسان متخصص خدمت می‌گیرند	<i>Number of Normal Customers Served by Expert Operators</i>
به استثناء مشتریانی که از تماس مجدد استفاده می‌کنند	زمان کل مشتریان ویژه در سیستم	<i>VIP Customers Total Time in System</i>

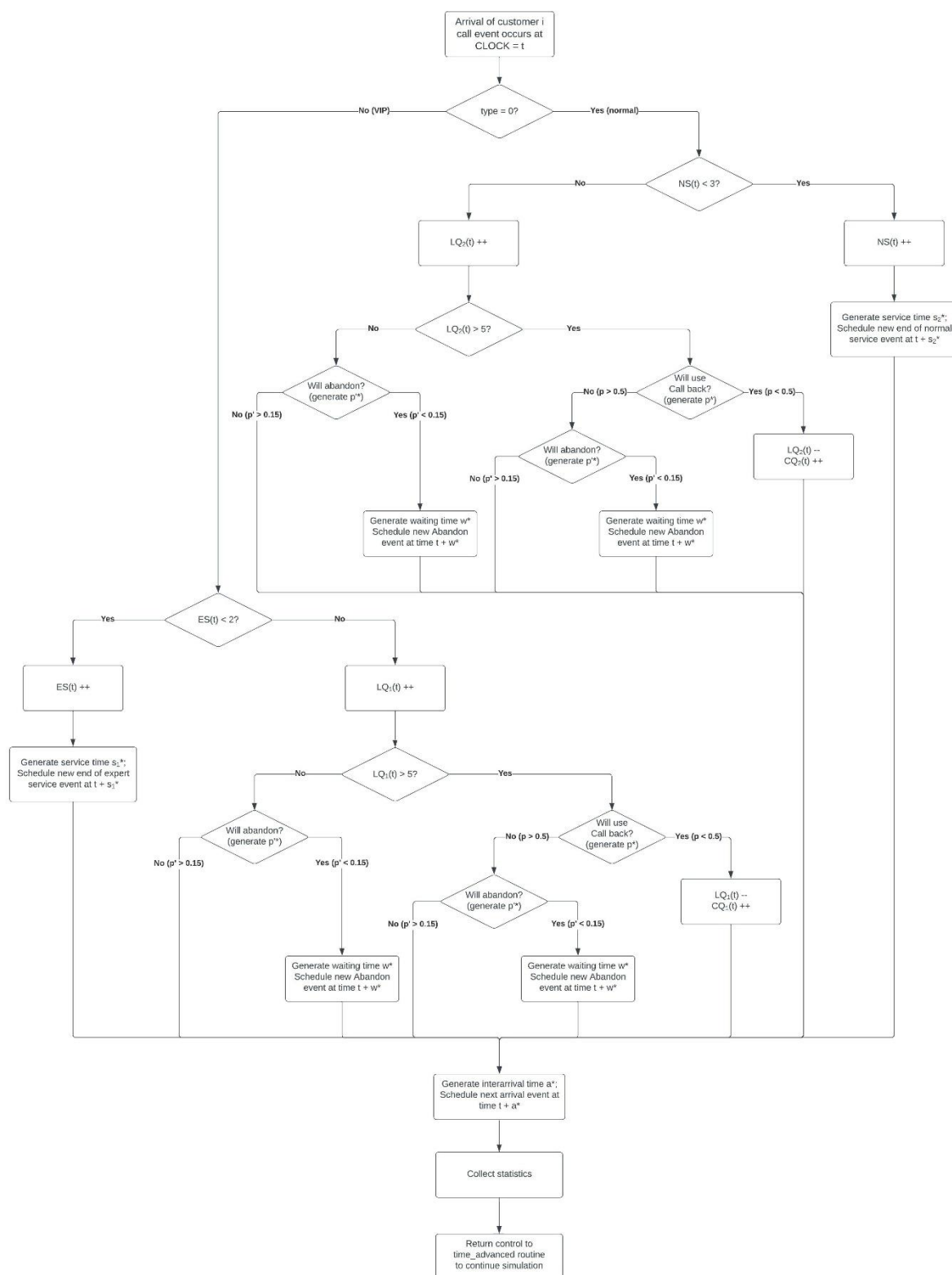
¹ Delays

² Cumulative Statistics

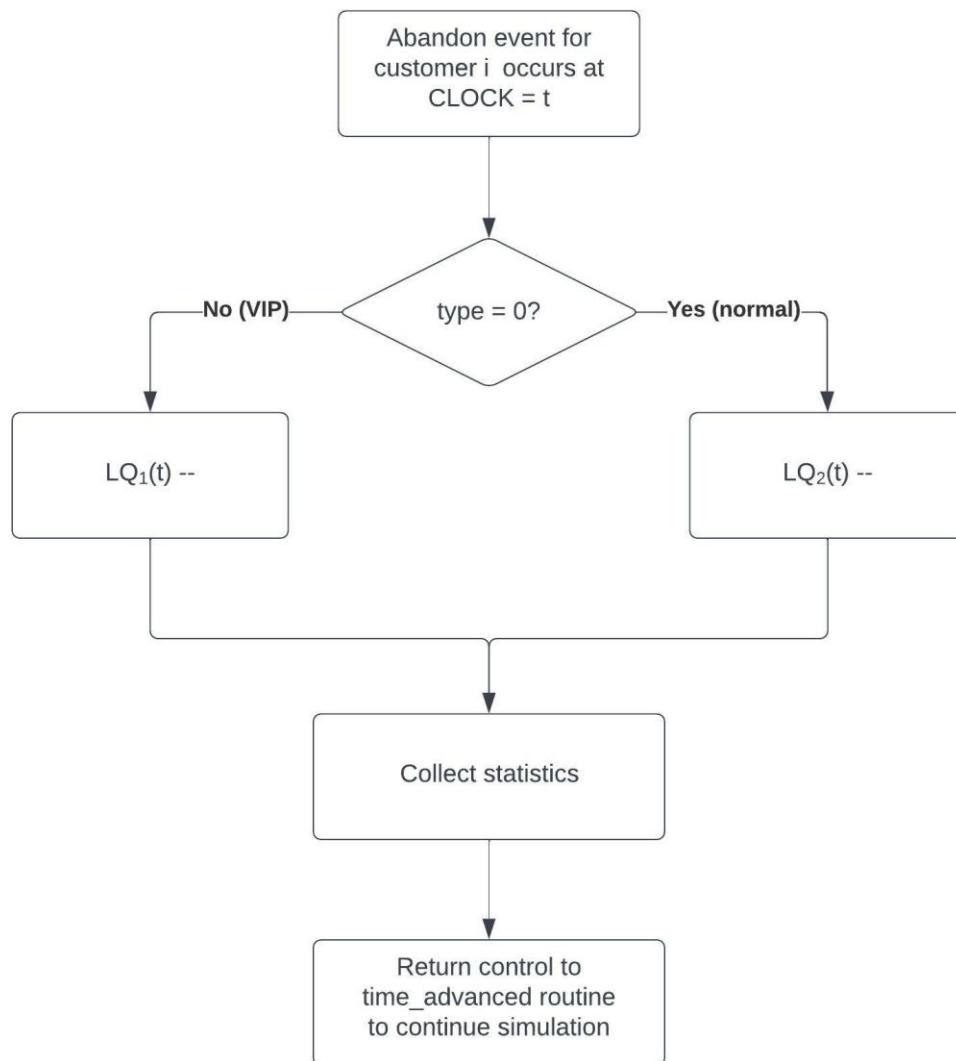
۱-۲ توصیف پویای سیستم

برخلاف توصیف ایستای سیستم که شناخت آن را ممکن می‌سازد، توصیف پویای سیستم پیشبرد آن با زمان را مورد بررسی قرار می‌دهد. در ادامه نمودارهای جریان^۱ برای هر یک از پیشامدهای تعریف شده بررسی شده‌است.

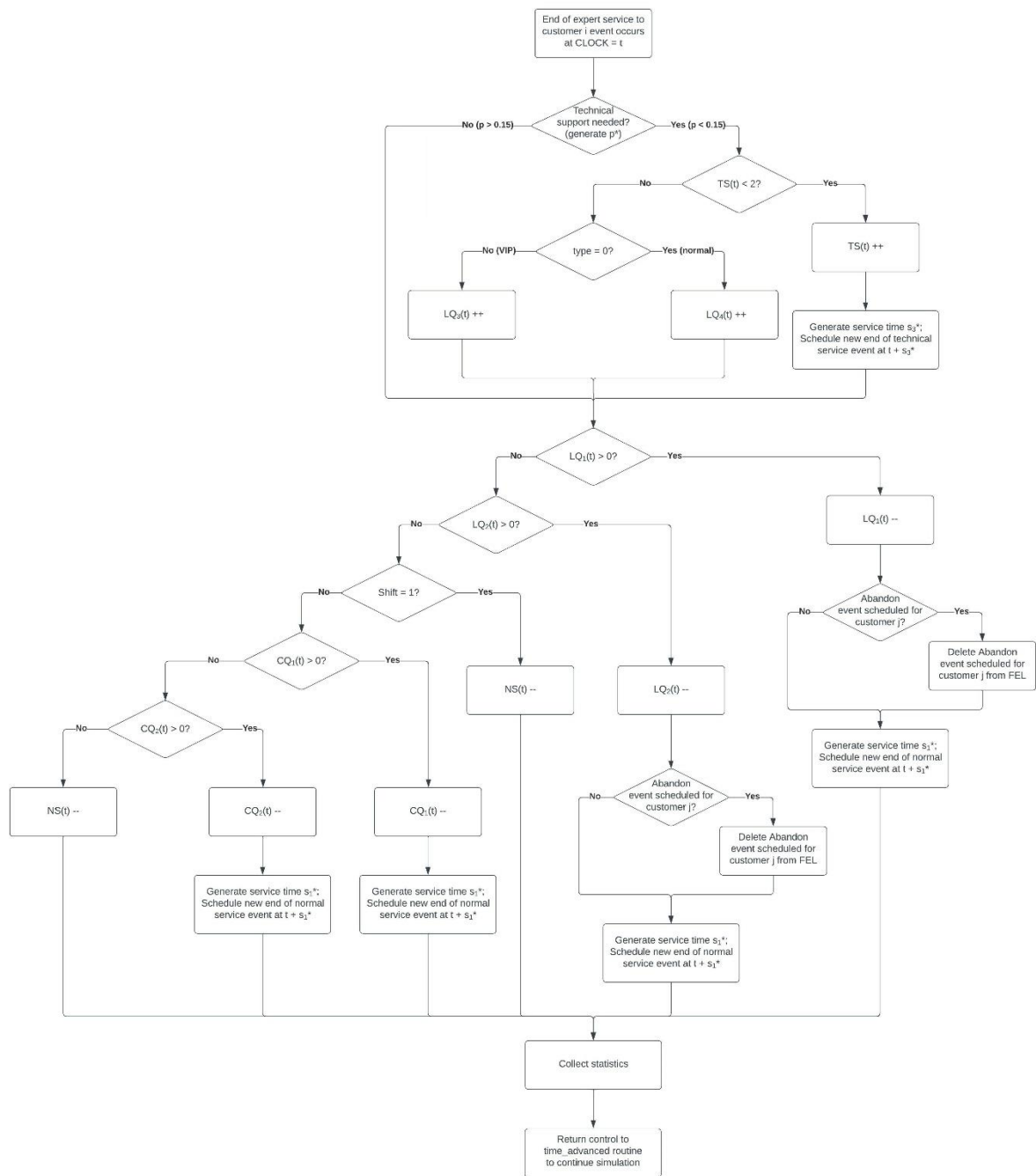
^۱ Flowchart



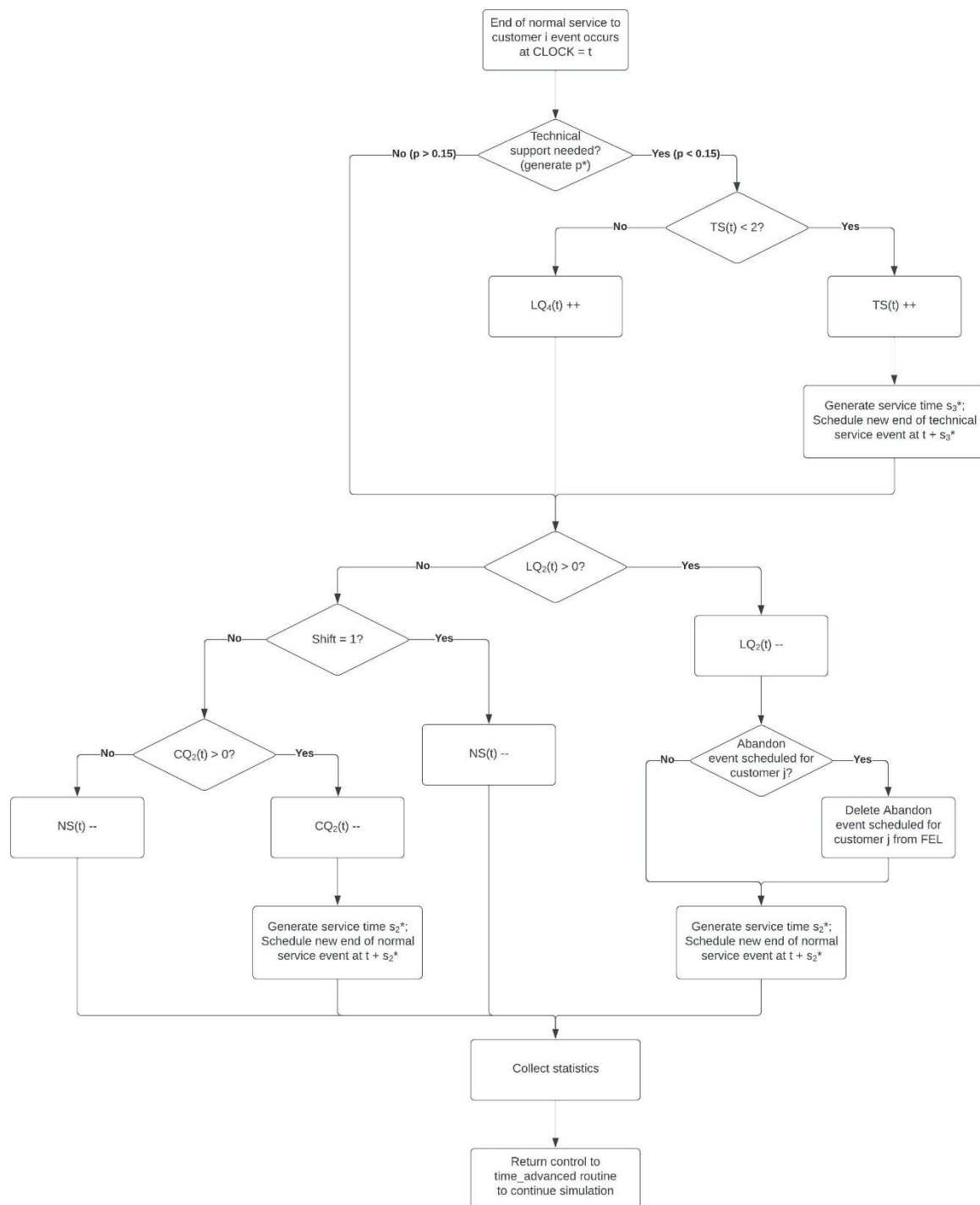
نمودار ۱-۱: نمودار جریان پیشامد ورود مشتری



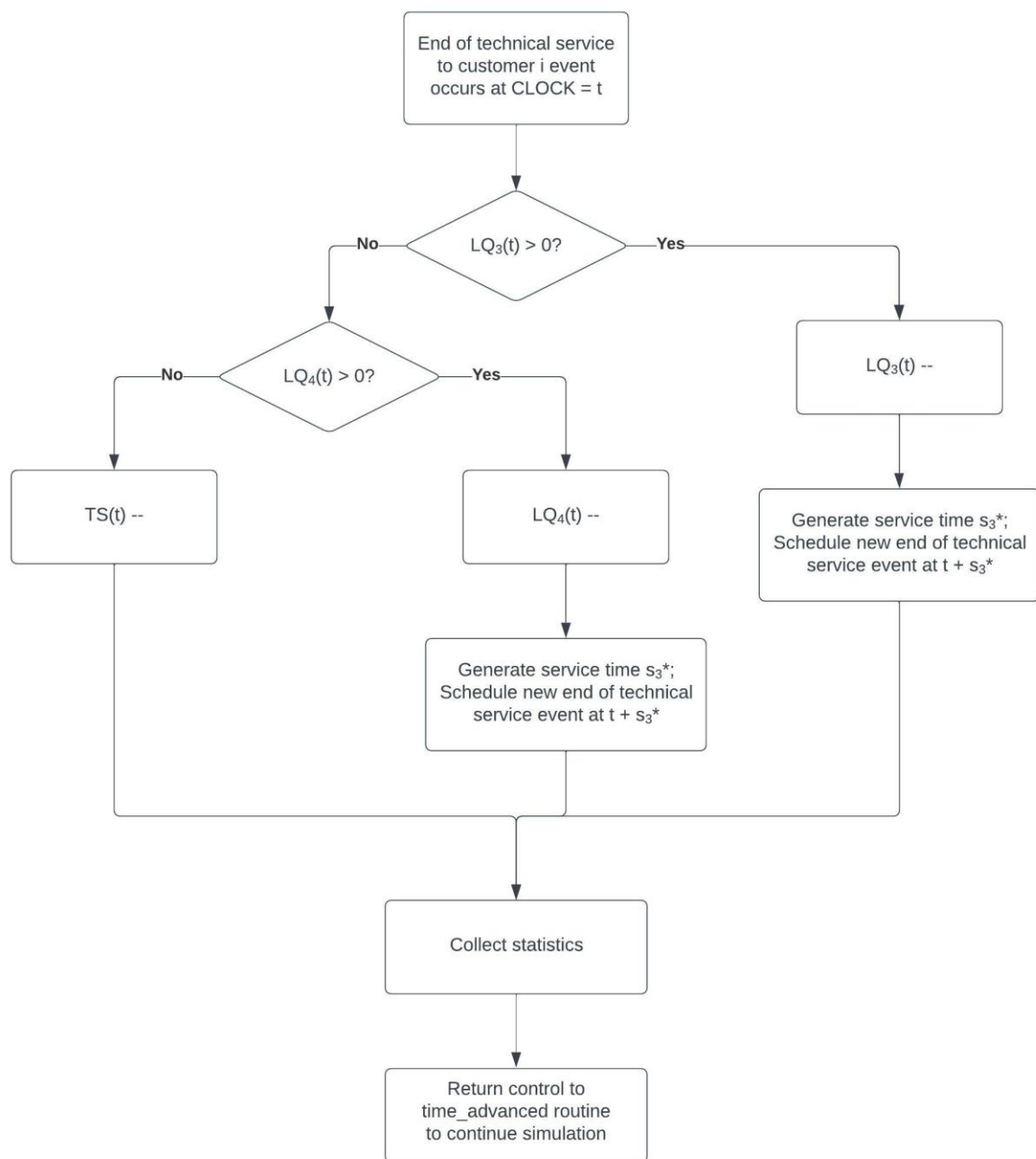
نمودار ۱-۲: نمودار جریان پیشامد ترک صف توسط مشتری



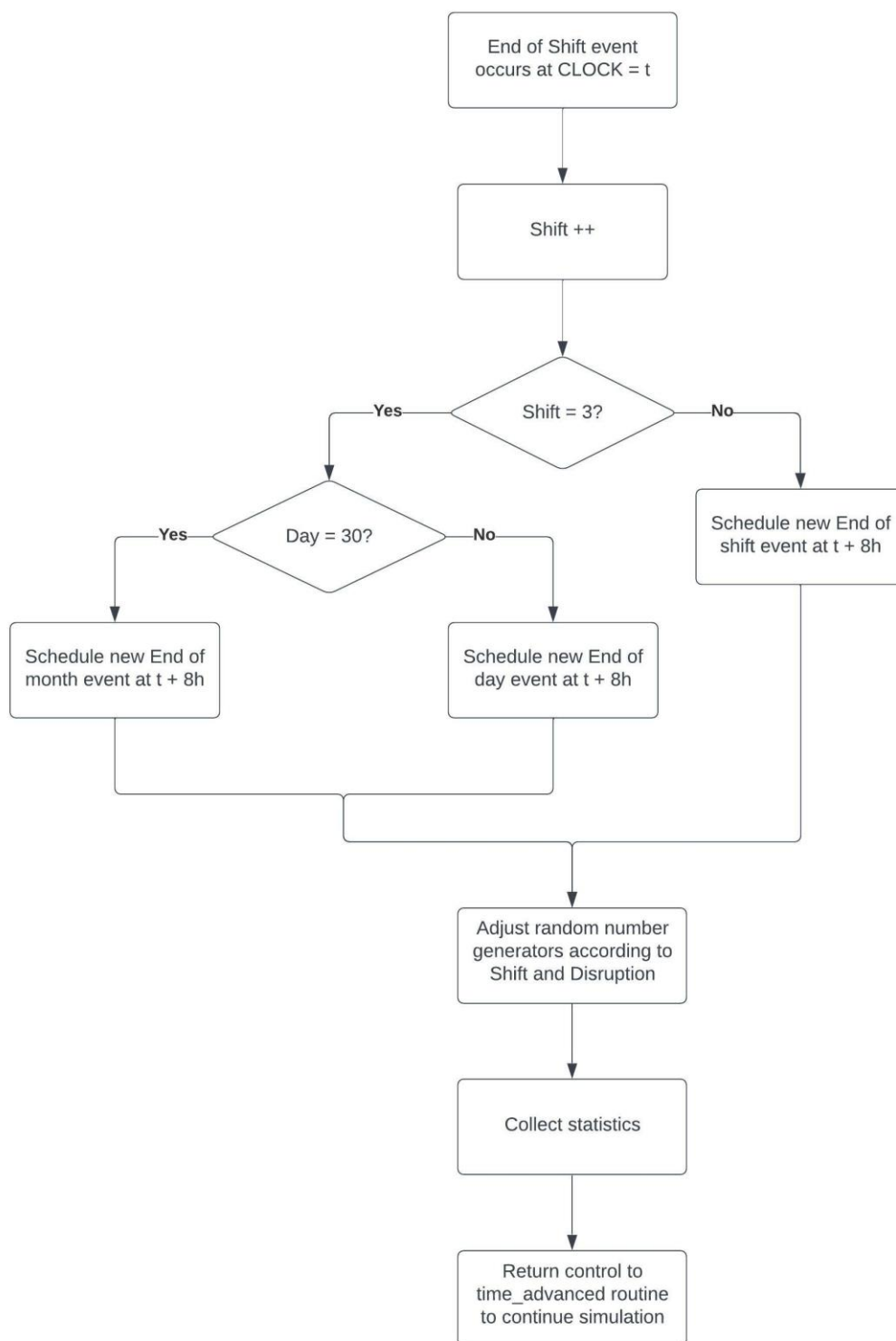
نمودار ۱-۳: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص



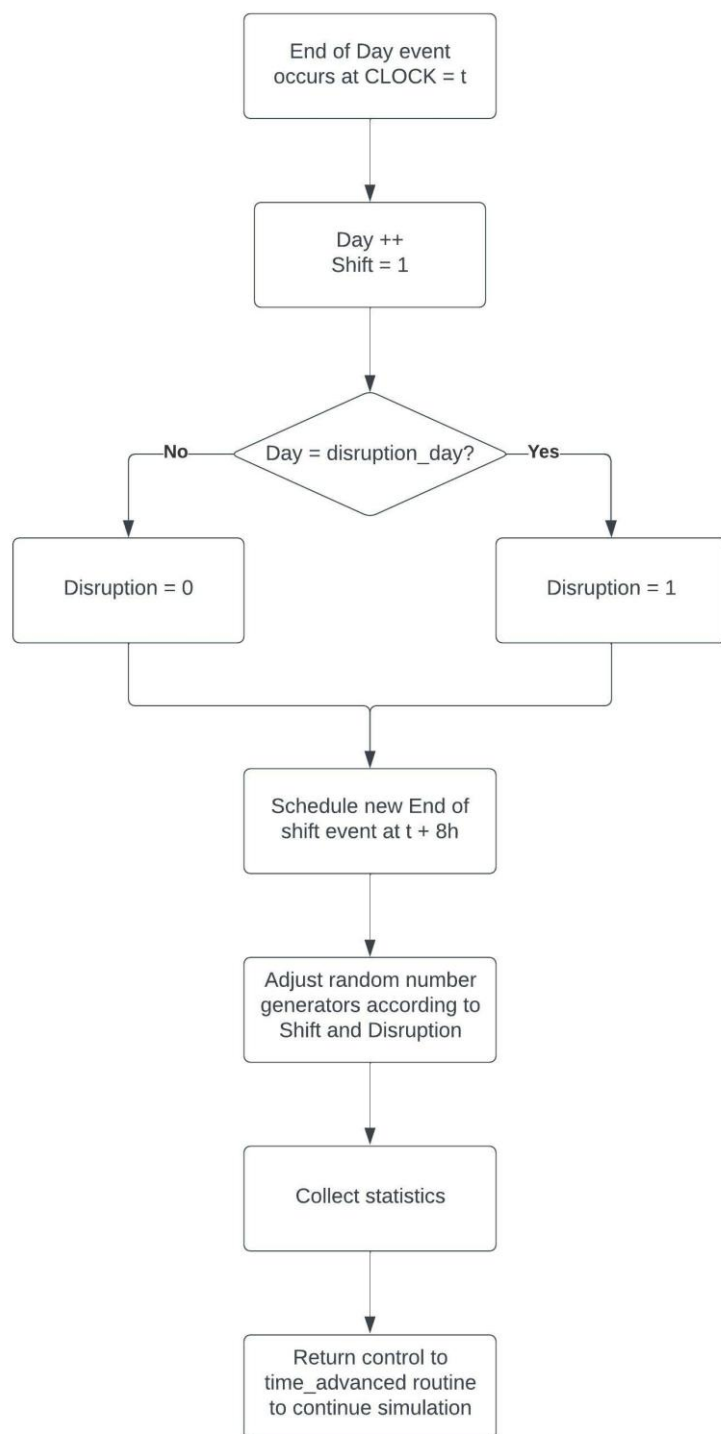
نمودار ۱-۴: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس تازه کار



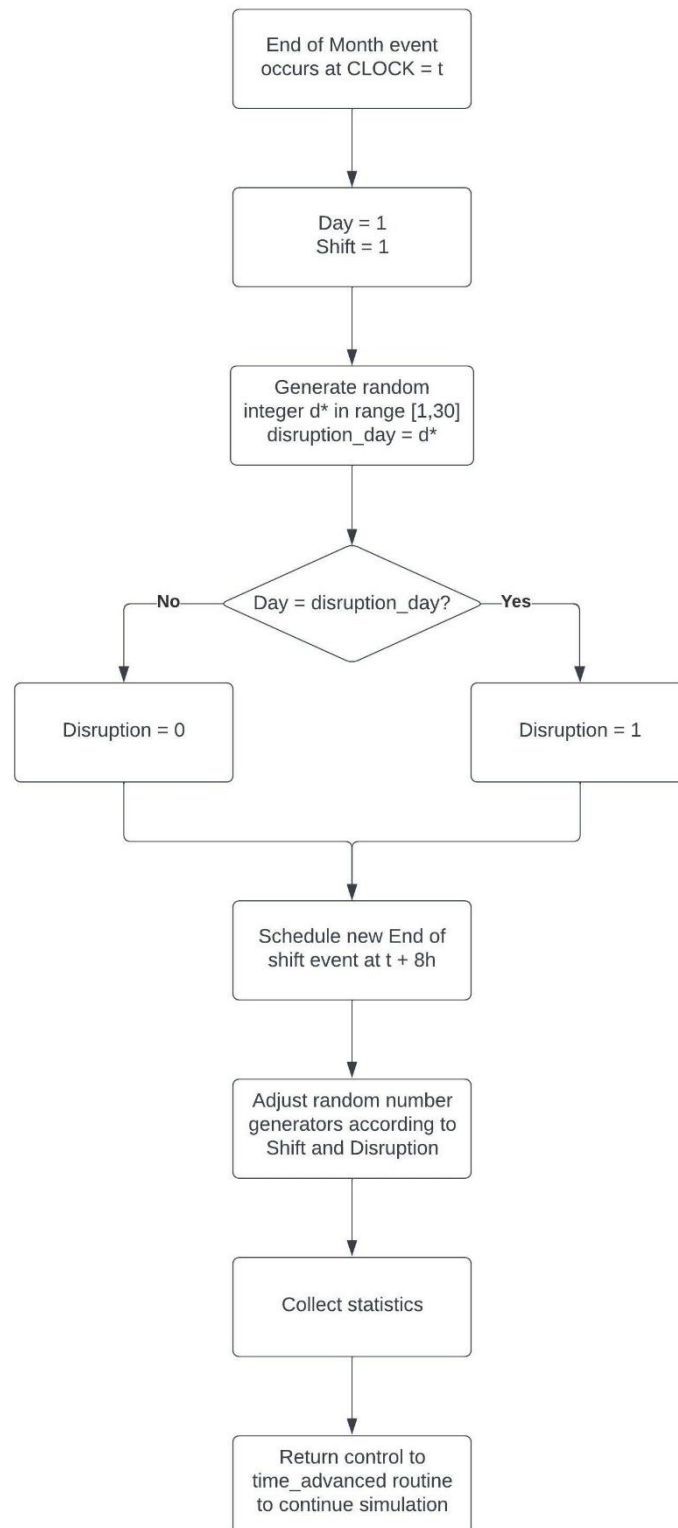
نمودار ۱-۵: نمودار جریان پیشامد پایان خدمت‌دهی توسط کارشناس فنی



نمودار ۱-۶: نمودار جریان پیشامد پایان شیفت



نمودار ۷-۱: نمودار جریان پیشامد پایان روز



نمودار ۸-۱: نمودار جریان پیشامد پایان ماه

۳-۱ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم^۱

در این بخش به برخی معیارهایی که به کمک آن‌ها عملکرد سیستم را می‌توان سنجید پرداخته می‌شود.

۱-۳-۱ میانگین زمان ماندن مشتریان در سیستم

بررسی زمان حضور مشتریان در سیستم به تفکیک نوع و شیفت در به دست آوردن درک صحیح از سیستم در شرایط گوناگون کمک می‌کند.

۲-۳-۱ میانگین زمان انتظار مشتریان در صف

بررسی زمان انتظار مشتریان در صف به تفکیک نوع و شیفت اوضاع مشتریان ویژه یا عادی رادر شیفت‌های مختلف توصیف می‌کند و می‌تواند رهنمودی برای ایجاد تغییرات در سیستم در شیفت‌های گوناگون باشد. این معیار برای هر صف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$W_Q^i = \frac{\text{Total Queue Waiting Time in Queue } i}{\text{Service Starters from Queue } i}$$

۳-۳-۱ درصد مشتریان عادی که از کارشناسان متخصص خدمت می‌گیرند

بررسی درصد مشتریان عادی که از کارشناسان متخصص خدمت می‌گیرند دید واضح‌تری از وضعیت صف‌های مختلف می‌دهد و نحوه محاسبه آن به شیوه‌ی زیر است:

$$\text{Percentage of Normal Customers Served by Experts} = \frac{\text{Number of Normal Customers Served by Experts}}{\text{Total Number of Normal Customers}}$$

۴-۳-۱ درصد بهره‌وری کارشناسان

بررسی درصد بهره‌وری کارشناسان به تفکیک نوع در شیفت‌های مختلف می‌تواند دید سازنده‌ای نسبت به این که چه بخش‌هایی نیاز به کاهش یا افزایش تعداد کارشناسان دارند بدهد. این معیار برای هر یک از سه دسته کارشناسان با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\rho_i = \frac{\text{Total Busy Time for Operators Type } i}{\text{Simulation Time} * \text{Number of Operators Type } i}$$

۵-۳-۱ میانگین مدت زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم

با توجه به این که این معیار برای مشتریان ویژه‌ای که از تماس مجدد استفاده نمی‌کنند خواسته شده، مقدار آن به طریق زیر محاسبه می‌گردد:

^۱ KPI (Key Performance Indicator)

$$W_{VIPs} = \frac{VIPs \text{ Total Time in System}}{Total \text{ number of VIPs Not Using Callback}}$$

۱-۳-۶ درصد کاربران ویژه که هیچ گاه در انتظار نمی مانند

این معیار به طریق زیر محاسبه می شود:

$$Percentage \text{ of VIPs Never Waiting} = \frac{Number \text{ of VIPs Never Waiting}}{Total \text{ Number of VIP Customers}} * 100$$

۱-۳-۷ میانگین طول صف

این معیار برای هر ۶ صف به طور جداگانه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$L_Q^i = \frac{Area \text{ Under QL Curve for Queue } i}{Simulation \text{ Time}}$$

۱-۴ لیست پیشامدهای آتی^۱ در لحظه شروع

برای یک شبیه سازی ۳۰ روزه، پیشامدهای برنامه ریزی شده در لحظه شروع شامل پیشامد پایان ماه قبلی،

پیشامد ورود اولین مشتری و پیشامد پایان شبیه سازی به شرح زیر می باشد:

$$FEL = \{(EoM, t = 0), (Arrival, t, C_1), (End \text{ of Simulation}, t = 720 \text{ hours})\}$$

¹ Future events list (FEL)

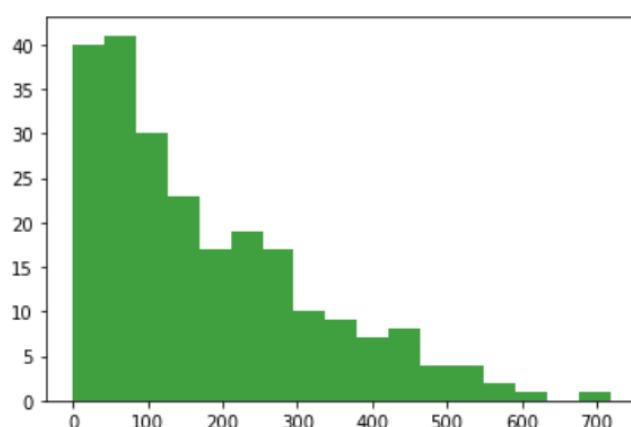
فصل دوم

۱-۲ تخمین توزیع‌های زمان خدمت‌دهی کارشناسان

انجام این بخش در ژوپیتِر نوت‌بوک^۱ صورت گرفته است. بدین منظور ابتدا داده‌ها را پاکسازی کرده و تعداد ۲۴ سطر دارای مقادیر ناموجود^۲ حذف شدند. سپس ستون جدیدی به نام *Duration* ایجاد و مدت زمان هر تماس بر حسب ثانیه محاسبه و در آن ذخیره شد. در ادامه داده‌های مربوط به تماس مشتریان ویژه، مشتریان عادی و نوبت دوم خدمت‌دهی جدا و دسته‌بندی شد که کدام از این گروه‌ها به ترتیب ۲۳۳، ۶۱۰ و ۱۳۲ عدد از داده‌ها را به خود اختصاص دادند. بررسی هر گروه به شرح زیر است.

۱-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان متخصص

ابتدا نمودار هیستوگرام^۳ داده‌ها با تعداد بین^۴ ۱۷ (که با آزمون و خطای اعداد نزدیک به جذر تعداد داده‌ها انتخاب شد) مطابق نمودار ۱-۲ رسم گردید.



نمودار ۱-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان متخصص

^۱ Jupyter notebook

^۲ NaN

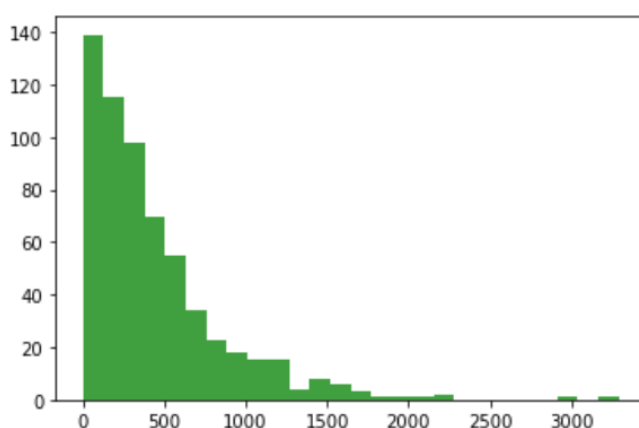
^۳ histogram

^۴ bin

با توجه به ظاهر نمودار این احتمال داده شد که داده‌ها از توزیع نمایی پیروی می‌کنند، لذا آزمون مربع کای با فرض صفر پیروی از توزیع نمایی انجام شد و نتیجه آن عدم رد فرض صفر بود. لذا در شبیه‌سازی می‌توان با توجه به میانگین داده‌ها، توزیع D_1 را توزیع نمایی با λ برابر با 0.0056 بر حسب ثانیه در نظر گرفت.

۲-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار

ابتدا نمودار هیستوگرام داده‌ها با تعداد بین ۲۶ (که با آزمون و خطای اعداد نزدیک به جذر تعداد داده‌ها انتخاب شد) مطابق نمودار ۲-۲ رسم گردید.

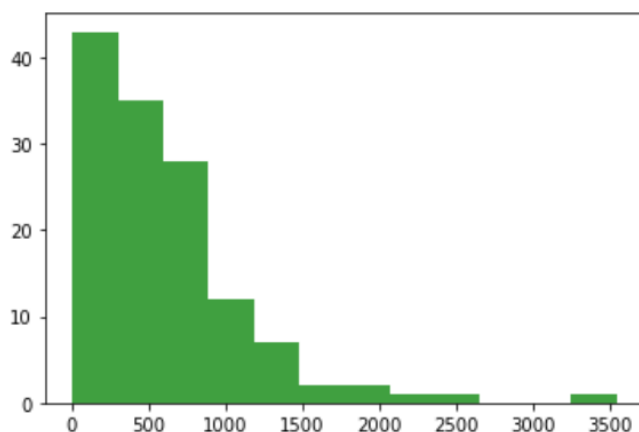


نمودار ۲-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار

با توجه به ظاهر نمودار این احتمال داده شد که داده‌ها از توزیع نمایی پیروی می‌کنند، لذا آزمون مربع کای با فرض صفر پیروی از توزیع نمایی انجام شد و نتیجه آن عدم رد فرض صفر بود. لذا در شبیه‌سازی می‌توان با توجه به میانگین داده‌ها، توزیع D_2 را توزیع نمایی با λ برابر با 0.0023 بر حسب ثانیه در نظر گرفت.

۳-۱-۲ خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی

ابتدا نمودار هیستوگرام داده‌ها با تعداد بین ۱۲ (که با آزمون و خطای اعداد نزدیک به جذر تعداد داده‌ها انتخاب شد) مطابق نمودار ۳-۲ رسم گردید.



نمودار ۳-۲: هیستوگرام مدت زمان خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی

با توجه به ظاهر نمودار این احتمال داده شد که داده‌ها از توزیع نمایی پیروی می‌کنند، لذا آزمون مربع کای با فرض صفر پیروی از توزیع نمایی انجام شد و نتیجه آن عدم رد فرض صفر بود. لذا در شبیه‌سازی می‌توان با توجه به میانگین داده‌ها، توزیع D_3 را توزیع نمایی با λ برابر با 0.0017 بر حسب ثانیه در نظر گرفت.

۲-۲ پیاده‌سازی شبیه‌سازی

شبیه‌سازی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون^۱ انجام گرفته و کد مربوطه به همراه فایل اکسل خروجی حاصل از سید^۲ تولید اعداد تصادفی ۱۴۳ ضمیمه گشته است. خروجی‌های شبیه‌سازی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: خروجی‌های شبیه‌سازی ($seed = 143$)

معیار		مقدار
L_Q	<i>VIP Queue</i>	0.265
	<i>Normal Queue</i>	0.969
	<i>VIP Call-back Queue</i>	0.114
	<i>Normal Call-back Queue</i>	6.969
	<i>VIP Technical Queue</i>	0.066
	<i>Normal Technical Queue</i>	0.635
ρ	<i>Expert Operators</i>	50.61%
	<i>Normal Operators</i>	67.94%
	<i>Technical Operators</i>	45.70%

^۱ python

^۲ seed

W_Q	<i>VIP Queue</i>	1.40
	<i>Normal Queue</i>	2.25
	<i>VIP Call-back Queue</i>	182.94
	<i>Normal Call-back Queue</i>	277.08
	<i>VIP Technical Queue</i>	2.36
	<i>Normal Technical Queue</i>	9.70
$Max L_Q$	<i>VIP Queue</i>	10
	<i>Normal Queue</i>	41
	<i>VIP Call-back Queue</i>	10
	<i>Normal Call-back Queue</i>	318
	<i>VIP Technical Queue</i>	4
	<i>Normal Technical Queue</i>	21
<i>VIPs Average Time in System</i>		6.19
<i>Percentage of VIPs Not waiting</i>		44.01%
<i>Percentage of Normal Customers Served by Expert Operators</i>		32.99%

۲-۲-۱ تحلیل خروجی‌ها

میانگین طول صف در تمامی صف‌ها به جز صف تماس مجدد مشتریان عادی کمتر از ۱ است، این عبارت با بیان این مفهوم که مشتریان معمولاً صف طولی مقابل خود نمی‌بینند وضعیتی مطلوب از سیستم توصیف می‌کند، این در حالیست که در ادامه بیشترین طول صف مشتریان عادی برابر با ۴۱ و بیشترین طول صف تماس مجدد مشتریان عادی برابر با ۳۱۸ حاصل شده است، که به این معناست که در حالی که در اکثر اوقات مشتریان صف خلوتی مقابل خود می‌بینند، در مواقع خاصی (احتمالاً در روزهای دچار اختلال) این صف می‌تواند به طول زیادی برسد که ممکن است برای مشتریان ناخوشایند باشد. اما در مجموع با توجه به این که میانگین طول صف و زمان انتظار در صف برای صف‌های مختلف کم بوده و بهره‌وری کارشناسان نیز پایین است، به این معنا که کارشناسان اکثر اوقات خود را به بی‌کاری می‌گذرانند احتمالاً بتوان از این زمان‌های شلوغی خاص صرف نظر کرد. هم‌چنین این مسائل برای کارشناسان فنی به نسبت کمتر بوده و بهره‌وری ۴۵٪ مطلوب سیستم نمی‌باشد. حدود ۴۴٪ از مشتریان ویژه هیچ‌گاه در سیستم منتظر نمی‌مانند و میانگین زمان ماندن این دسته از مشتریان در سیستم حدود شش دقیقه است که بیانگر وضعیت مناسب مشتریان ویژه در سیستم است.

۲-۲-۲ برآورد فاصله‌ای خروجی‌ها

تصمیم بر آن شد که شبیه‌سازی ۵ بار به طور مستقل با ۵ سید متفاوت اجرا شود و برآورد فاصله‌ای از مدت زمان ماندن مشتریان ویژه در سیستم، درصد کاربران ویژه که هرگز منتظر نمی‌مانند و بهره‌وری کارشناسان تیم فنی محاسبه شود. موارد فوق برای پنج همانندسازی^۱ شبیه‌سازی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶: خروجی‌های همانندسازی‌های مستقل شبیه‌سازی

<i>Seed</i>	<i>W_{VIPs}</i>	<i>VIPs Not Waiting</i>	<i>Technical Utilization</i>
143	6.19	44.01%	45.70%
1435	6.35	42.72%	45.22%
14356	6.29	44.02%	48.76%
143567	6.26	43.47%	47.17%
1435678	6.13	45.80%	47.41%

که در نتیجه برآورد فاصله‌ای برای معیارهای ذکر شده بدین شرح می‌باشد:

$$W_{VIPs} = 6.24 \pm 0.009$$

$$\text{Percentage of VIPs Not Waiting} = 44.00\% \pm 0.016$$

$$\text{Technical Utilization} = 46.85\% \pm 0.025$$

۲-۲-۳ تحلیل حساسیت خروجی‌ها

با تحلیل و بررسی خروجی‌ها احتمال می‌رود که کاهش تعداد کارشناسان فنی به یک نفر بهره‌وری کارشناسان را بدون ایجاد مشکلی افزایش دهد، همچنین کاهش تعداد کارشناسان تازه‌کار به ۲ نفر ضمن افزایش بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار، ارجاع کاربران عادی به کارشناسان متخصص را نیز افزایش داده و بهره‌وری این دسته از کارشناسان را نیز بهبود می‌بخشد. لذا تغییرات فوق در شبیه‌سازی اعمال شد و شبیه‌سازی با سید ۱۴۳ اجرا شد. نتیجه این بود که با اینکه بهره‌وری کارشناسان متخصص، تازه‌کار و فنی به ترتیب به ۶۰٪، ۷۶٪ و ۹۱٪ درصد افزایش یافت اما میانگین زمان انتظار کاربران عادی در صف خدمت فنی به ۲۶۵ دقیقه رسید که مطلوب سیستم نمی‌باشد، لذا تعداد کارشناسان فنی را دوباره برابر دو قرار داده و صرفاً با نگه داشتن تغییر اعمال شده در تعداد کارشناسان تازه‌کار شبیه‌سازی را اجرا می‌کنیم. در نتیجه این تغییر بهره‌وری کارشناسان متخصص، تازه‌کار و فنی به ترتیب به ۶۰٪، ۷۷٪ و ۴۶٪ درصد تغییر کرد. همچنین میانگین طول صف کاربران عادی به ۲۰۱ دقیقه افزایش پیدا کرد که در مقایسه با بهره‌وری به دست آمده منطقی و قابل قبول به نظر می‌رسد.

¹ replication

فصل سوم

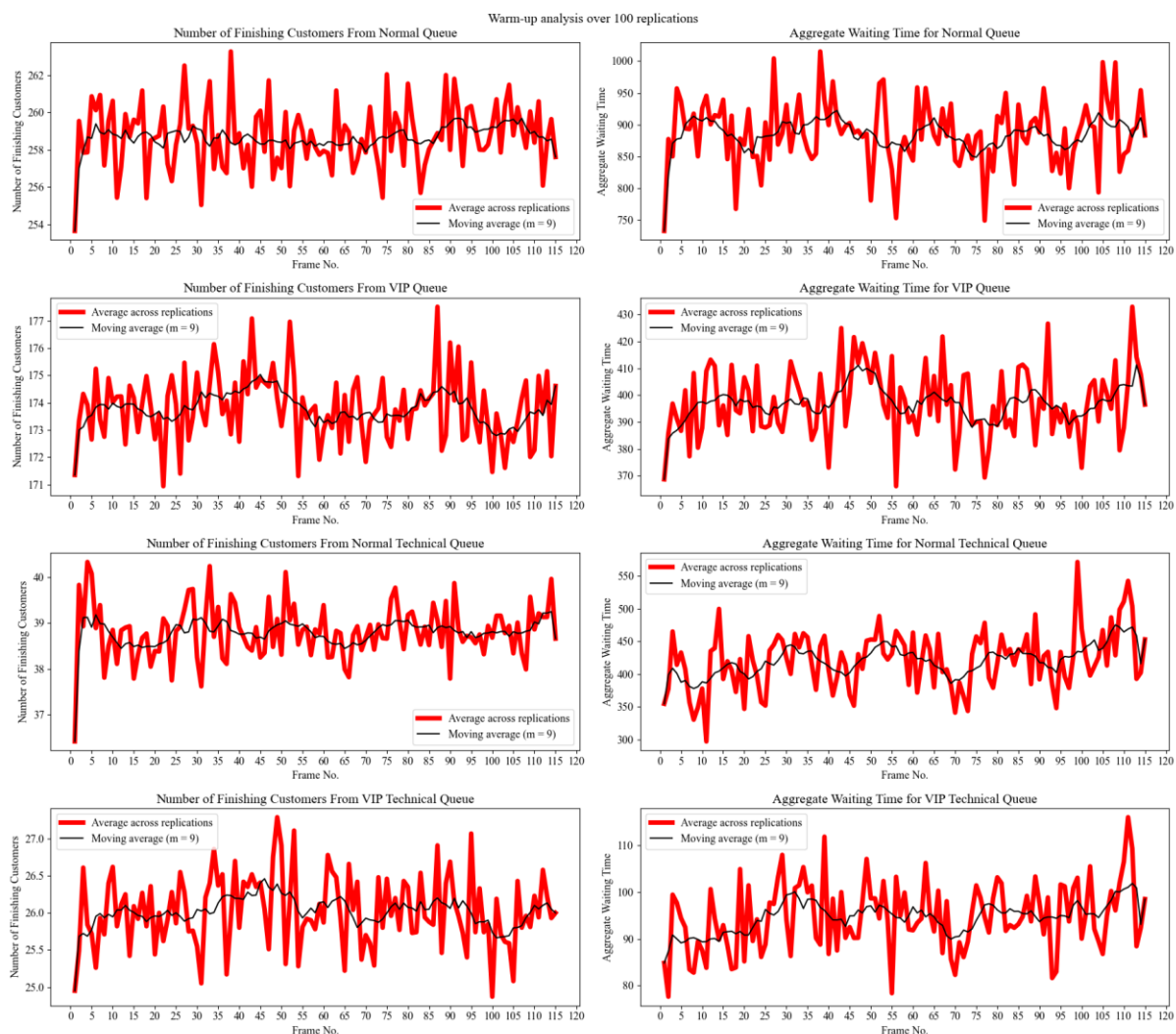
۳-۱ اصلاح سیستم

در این بخش در وهله اول قابلیت تماس مجدد حذف شده، درصد مشتریان ویژه به ۴۰ درصد مشتریان افزایش یافته، روز اختلال از سیستم حذف شده و میانگین زمان بین تماس‌ها در هر سه شیفت به ۱/۱ دقیقه رسیده است. شبیه‌سازی فوق با عنوان سیستم ۱ ذخیره و ضمیمه شده است. همچنین یک سیستم با میانگین زمان خدمت‌دهی ۵/۸ دقیقه برای کارشناسان تازه‌کار و ۲/۷ دقیقه برای کارشناسان خبره و با ۲ نفر کارشناس تازه‌کار نیز برای بررسی شبیه‌سازی شده و تحت عنوان سیستم ۲ ضمیمه گشته است.

۳-۲ تحلیل حالت سرد و گرم سیستم ۱

شبیه‌سازی به مدت ۴۰ روز در ۱۰۰ همانندسازی مستقل اجرا شد و میانگین تعداد مشتریان که خدمت گرفته‌اند و میانگین زمان انتظار تجمعی مشتریان در قاب‌های زمانی ۸ ساعته برای هر چهار صف محاسبه شده و بر روی نمودار آورده شده است. (نمودار ۳-۱)

با دقت در نمودارها می‌توان با اطمینان بالایی از قاب زمانی ۶۰ (روز بیستم) به بعد را حالت گرم سیستم در نظر گرفت. با این فرض ۱۰۰ همانندسازی مستقل از شبیه‌سازی اجرا شد و میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف اول در حالت گرم سیستم بین ۱۰۰ همانندسازی برابر با ۳.۴۷ دقیقه به دست آمد.



نمودار ۳-۱: خروجی شبیه‌سازی در یک دوره ۴۰ روزه

۳-۳ مقایسه سیستم‌ها

خروجی‌های دو سیستم توسط فایل پایتونی به نام *comparison* مقایسه شد و یکی از خروجی‌های آن بازه اطمینان ۹۵ درصدی برای اختلاف بین زمان انتظار مشتریان عادی در صف اولیه بین دو سیستم، مطابق زیر است:

$$0.95 \text{ confidence interval for } W_Q^1 - W_Q^2 = (-0.660, -0.547)$$

با توجه به اینکه این بازه تماماً در محدوده منفی قرار دارد، می‌توان پذیرفت که به طور کلی مشتریان عادی در سیستم ۱ زمان کمتری را در صف اول سپری می‌کنند.

همچنین برآورد نقطه‌ای سایر معیارهایی که برای مقایسه انتخاب شده‌اند بر روی ۱۰۰ همانندسازی در حالت گرم سیستم در جدول ۷ برای دو سیستم آورده شده است.

جدول ۷: معیارهای ارزیابی برای سیستم ۱ و ۲

<i>KPI</i>	<i>System 1</i>	<i>System 2</i>
<i>Average Normal W_Q</i>	3.47	4.08
<i>Average VIP W_Q</i>	2.30	1.90
<i>Average Normal L_Q</i>	1.94	2.28
<i>Average VIP L_Q</i>	0.84	0.70
<i>Average Normal Server Utilization</i>	84.38%	85.69%
<i>Average Expert Server Utilization</i>	80.85%	81.48%

با مقایسه معیارها این نتیجه حاصل می شود که با اینکه میانگین مدت انتظار مشتریان عادی و میانگین طول صفی که این دسته از مشتریان مقابل خود می بینند در سیستم دو بیشتر شده، اما در مقابل این موارد برای مشتریان ویژه بهبود داشته و همچنین بهره وری هر دو دسته کارشناسان تازه کار و خبره افزایش یافته است. به علاوه شرکت با کاهش تعداد کارشناسان تازه کار، در هزینه های خود صرفه جویی می کند. لذا پیشنهاد این تحلیل انتخاب سیستم دو است.

۳-۴ سیاست های بهبود

با دقت در خروجی های سیستم این موضوع به چشم می خورد که مشتریان به طور میانگین برای ارتباط با تیم فنی مدت زیادی را به انتظار در صف می گذرانند (۳/۷ دقیقه برای مشتریان ویژه و ۱۱/۷ دقیقه برای مشتریان عادی). لذا پیشنهاد می شود در صورت امکان دوره هایی برای افزایش مهارت کارشناسان تیم فنی و کاهش میانگین زمان خدمت دهی آنها برگزار شود. در غیر این صورت افزایش تعداد کارشناسان تیم فنی می تواند راهکار مناسبی باشد.

از طرفی با وجود طولانی بودن مدت زمان انتظار مشتریان در صف خدمت فنی، بهره وری این دسته از کارشناسان برابر با ۶۷/۷۴ درصد است که در مقایسه با سایر کارشناسان عدد پایینی است. لذا این مفهوم برداشت می شود که احتمالاً در برهه هایی از زمان این کارشناسان برای مدت قابل توجهی بیکار هستند در حالی که در مواقع خاصی صف های طولانی ای برای خدمت فنی وجود دارد. لذا پیشنهاد می شود این مواقع و علت آنها شناسایی شده و در صورت امکان تعداد کارشناسان فنی در شیفت های مختلف تغییر کنند تا مدت بیکاری کارشناسان در زمان های بدون مشتری و مدت انتظار مشتریان در صف در ساعات شلوغی کاهش یابد.