



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی صنایع

پروژه درس اصول شبیه سازی

عنوان:

شبیه سازی مرکز تماس

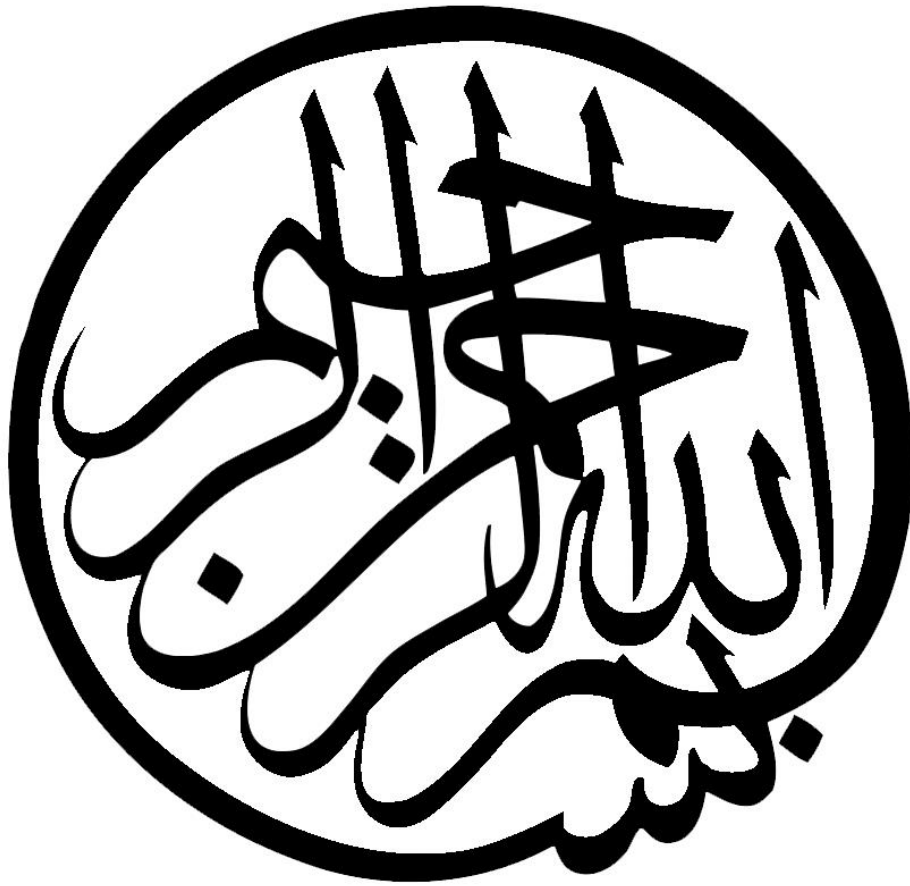
استاد:

سرکار خانم دکتر نفیسه صدقی

نویسندگان:

مبینا حسن زاده آذر، حامد حاتمی بورا

نیم سال دوم تحصیلی ۱۴۰۰-۱۴۰۱



## فهرست مطالب

چکیده.....	7
فصل ۱: فاز اول پروژه.....	1
۱-۱ بیان مسئله.....	1
۲-۱ توصیف ایستای شبیه‌سازی.....	1
۱-۲-۱ نهادها.....	1
۲-۲-۱ متغیرهای حالت.....	2
۳-۲-۱ پیشامدها.....	3
۴-۲-۱ فعالیت‌ها.....	3
۵-۲-۱ تأخیرها.....	4
۶-۲-۱ آماره‌های تجمعی.....	5
۳-۱ فرض‌ها و ساده‌سازی‌ها.....	6
۴-۱ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم.....	7
۵-۱ معیارهای موردنظر مدیریت مجموعه.....	10
۵-۱ توصیف پویای سیستم شبیه‌سازی.....	12
۱-۵-۱ فلوچارت پیشامد ورود کاربران (A) در زمان t.....	13
۲-۵-۱ فلوچارت پیشامد اتمام تماس کاربران (C) در زمان t.....	14
۳-۵-۱ فلوچارت پیشامد ترک ناگهانی صف پس از خسته‌شدن از انتظار (O) در زمان t.....	15
۴-۵-۱ فلوچارت پیشامد تغییر شیف (S) در زمان t.....	16
۶-۱ ساختاربندی لیست پیشامدهای آتی.....	17
۷-۱ لیست پیشامدهای آتی در لحظه آغازی شبیه‌سازی.....	17
فصل ۲: فاز دوم پروژه.....	18
۱-۲ تعیین توزیع‌های $D1$ , $D2$ و $D3$ و پارامترهای مربوط به آن‌ها.....	18

25.....	۲-۲ خروجی‌های سیستم
26.....	۳-۲ تحلیل خروجی‌های سیستم
26.....	۱-۳-۲ میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم
26.....	۲-۳-۲ درصد کاربران ویژه که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند
27.....	۳-۳-۲ بیشینه طول صف کاربران
27.....	۴-۳-۲ میانگین طول صف کاربران
27.....	۵-۳-۲ بیشینه مدت‌زمان انتظار کاربران در صف‌ها
28.....	۶-۳-۲ میانگین مدت‌زمان انتظار کاربران در صف‌ها
28.....	۷-۳-۲ میانگین بهره‌وری کارشناسان
28.....	۸-۳-۲ شیف‌ت با بیش‌ترین تعداد ترک‌کننده‌ی صف
28.....	۹-۳-۲ میانگین مدت‌زمان انتظار ترک‌کنندگان صف‌ها
29.....	۴-۲ برآورد فاصله‌ای خروجی‌های سیستم
29.....	۵-۲ تحلیل حساسیت خروجی‌های سیستم
30.....	۱-۵-۲ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس متخصص
31.....	۲-۵-۲ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس تازه‌کار
32.....	۳-۵-۲ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس فنی
33.....	۴-۵-۲ تغییر تعداد کارشناسان متخصص
34.....	۵-۵-۲ تغییر تعداد کارشناسان فنی
35.....	۶-۵-۲ تغییر تعداد کارشناسان تازه‌کار
36.....	فصل ۳: فاز سوم پروژه
36.....	۱-۳ توصیف سیستم جدید
36.....	۲-۳ تحلیل حالت سرد و گرم
38.....	۳-۳ مقایسه‌ی سیستم جدید با قبلی

- ۴-۳ سیاست‌های پیشنهادی در راستای بهبود ..... 41
- منابع ..... 42

## فهرست جداول

- 1- جدول نهادهای..... 1
- 2- جدول متغیرهای حالت..... 2
- 3- آماره‌های تجمعی..... 5
- 4- داده‌های ورودی برای تعیین توزیع..... 18
- 5- داده‌ها همراه با زمان خدمت‌دهی به ثانیه..... 19
- 6- داده‌های مربوط به کارشناسان متخصص..... 20
- 7- داده‌های مربوط به کارشناسان تازه‌کار..... 20
- 8- داده‌های مربوط به کارشناسان فنی..... 21
- 9- خروجی‌های سیستم..... 25
- 10- برآورد فاصله‌ای خروجی‌های سیستم..... 29
- 11- مقایسه‌ی دو سیستم با روش نمونه‌گیری همبسته..... 39
- 12- مقایسه‌ی دو سیستم با روش نمونه‌گیری مستقل..... 40

## فهرست نمودارها

- 1- پیشامد ورود کاربران..... 13
- 2- پیشامد اتمام تماس کاربران..... 14
- 3- پیشامد ترک ناگهانی صف c..... 15
- 4- پیشامد تغییر شیفت..... 16
- 5- هیستوگرام توزیع داده‌ها..... 22
- 6- نمودار Q-Q خدمت‌دهی کارشناس متخصص..... 23
- 7- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس متخصص..... 30
- 8- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس تازه‌کار..... 31
- 9- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس فنی..... 32
- 10- تغییر تعداد کارشناسان متخصص..... 33
- 11- تغییر تعداد کارشناسان فنی..... 34
- 12- تغییر تعداد کارشناسان تازه‌کار..... 35
- 13- نمودار تحلیل گرم و سرد برای ۱۱۰ روز شبیه‌سازی و قاب‌های ۴۸۰ دقیقه‌ای..... 37
- 14- نمودار تحلیل گرم و سرد برای ۳۰ روز شبیه‌سازی و قاب‌های ۳۰۰ دقیقه‌ای..... 38

## چکیده

در این پروژه، سعی داریم با استفاده از قوانین و رویکردهای اصول شبیه‌سازی گسسته-پیشامد مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی را شبیه‌سازی کنیم. در این مرکز تماس، دو کارشناس متخصص و سه کارشناس تازه‌کار و از طرفی دو کارشناس فنی، به‌صورت ۲۴ ساعته و در سه شیفت هشت‌ساعته، پاسخ‌گوی کاربران عادی و ویژه هستند.

کاربران پس از قرارگرفتن در صف می‌توانند از گزینه تماس مجدد استفاده کنند و کارشناسان در اولین زمانی که کاربری در صف پاسخ‌گویی نبود، با آن‌ها تماس بگیرند. همچنین ممکن است تعدادی از کاربران، از انتظار خسته شده و تماس را قطع کنند. پرسش برخی کاربران نیز فنی است و کارشناسان فنی باید پاسخ‌گو باشند.

هدف از انجام شبیه‌سازی این سیستم، بررسی عملکرد سیستم با استفاده از ارزیابی معیارهایی معین با استفاده از مفاهیم آماری و در انتها ارائه راه‌حل‌های مناسب برای بهبود سیستم است.

در فصل اول این گزارش، به بیان نهادها، متغیرهای حالت، پیشامدها، فعالیت‌ها و تأخیرهای سیستم پرداخته و سپس توصیف پویایی از این سیستم در قالب نمودارها<sup>۱</sup> ارائه می‌کنیم. در پایان این فصل، به فهرست پیشامدهای آتی در لحظه آغاز می‌پردازیم.

در بخش نخست فصل دوم، با استفاده از داده‌های داده‌شده، توزیعات را تخمین زده و با ساخت برنامه‌ی شبیه‌سازی توسط زبان برنامه‌نویسی پایتون، رخدادهای یک مرکز تماس را شبیه‌سازی کرده و با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده تحلیل انجام می‌دهیم.

در فصل سوم این گزارش، شاهد تغییر سیستمی که در فصول قبل داشته‌ایم می‌شویم و ظهور سیستم پیشنهادی‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

**کلیدواژه:** شبیه‌سازی، مرکز تماس، کارشناس، کاربر

---

<sup>۱</sup> Flowcharts

## فصل ۱: فاز اول پروژه

### ۱-۱ بیان مسئله

در این پروژه، سعی داریم با استفاده از قوانین و رویکردهای اصول شبیه‌سازی گسسته پیشامد مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی را شبیه‌سازی کنیم. در این مرکز تماس، دو کارشناس متخصص و سه کارشناس تازه‌کار و از طرفی دو کارشناس فنی، به‌صورت ۲۴ ساعته و در سه شیفتِ هشت‌ساعته، هشت‌ساعته، پاسخ‌گوی کاربران هستند؛ کاربران نیز خود به دو دسته عادی و ویژه تقسیم می‌شوند. کاربران ویژه، تنها از کارشناسان متخصص خدمت می‌گیرند و اولویت تخصیص کاربران عادی نیز با کارشناسان تازه‌کار است.

کاربران پس از قرارگرفتن در صف می‌توانند از گزینه تماس مجدد استفاده کنند و کارشناسان در اولین زمانی که کاربری در صف پاسخ‌گویی نبود، با آن‌ها تماس بگیرند. همچنین ممکن است تعدادی از کاربران، از انتظار خسته شده و تماس را قطع کنند. پرسش برخی کاربران نیز فنی است و کارشناسان فنی باید پاسخ‌گو باشند.

هدف از انجام شبیه‌سازی این سیستم، بررسی عملکرد سیستم با استفاده از ارزیابی معیارهایی معین با استفاده از مفاهیم آماری و در انتها ارائه راه‌حل‌های مناسب برای بهبود سیستم است.

### ۱-۲ توصیف ایستای شبیه‌سازی

می‌خواهیم از شبیه‌سازی گسسته-پیشامد بهره ببریم و در گام اول، خوب است توصیف ایستایی از شبیه‌سازی را بیان کنیم. مولفه‌های مربوط به این توصیف در ادامه ارائه خواهند شد.

#### ۱-۲-۱ نهادها

کاربران ( $U_k$  که در آن، اگر  $k$  صفر باشد، کاربر عادی و در صورت ویژه‌بودن کاربر،  $k$  برابر یک است).

نهادها	نماد به کاررفته
کاربران عادی	$U_0$
کاربران ویژه	$U_1$

جدول ۱- نهادها



## ۱-۲-۲ متغیرهای حالت

متغیر حالت، متغیرهایی هستند که می‌توانند وضعیت سیستم را در هر لحظه بیان کنند. این متغیرها به همراه نماد به کاررفته در این مسئله به صورت بیان شده در جدول زیر قابل مشاهده هستند.

متغیر حالت	نماد به کاررفته
وضعیت خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار	$R(t)$
وضعیت خدمت‌دهی کارشناسان متخصص	$X(t)$
وضعیت خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی	$T(t)$
تعداد افراد ویژه حاضر در صف خدمت‌گیری	$L_1(t)$
تعداد افراد عادی حاضر در صف خدمت‌گیری	$L_2(t)$
تعداد افراد ویژه در صف خدمت‌گیری تیم فنی	$LT(t)$
تعداد افراد عادی در صف خدمت‌گیری تیم فنی	$LTS(t)$
تعداد افراد ویژه در صف تماس مجدد	$LRS(t)$
تعداد افراد عادی در صف تماس مجدد	$LR(t)$
شماره شیفت	$M(t)$

جدول ۲- متغیرهای حالت

$R(t)$ : اگر هر سه کارشناس تازه‌کار مشغول باشند، این متغیر دارای مقدار ۳ است. اگر دو کارشناس تازه‌کار مشغول باشند، برابر مقدار ۲ و اگر یکی از آن‌ها مشغول باشد، برابر مقدار ۱ خواهد بود. در غیر این صورت، مقدار آن صفر است (تعداد کارشناسان تازه‌کار مشغول).

$X(t)$ : اگر هر دو کارشناس متخصص مشغول باشند، این متغیر دارای مقدار ۲ است. اگر یک کارشناس متخصص مشغول باشد، برابر مقدار ۱ و در غیر این صورت، مقدار آن صفر است (تعداد کارشناسان متخصص مشغول).

$T(t)$ : اگر هر دو کارشناس تیم فنی مشغول باشند، این متغیر دارای مقدار ۲ است. اگر یک کارشناس تیم فنی مشغول باشد، برابر مقدار ۱ و در غیر این صورت، مقدار آن صفر است (تعداد کارشناسان تیم فنی مشغول).

$L_1(t)$ : تعداد افراد ویژه حاضر در صف خدمت‌گیری

$L_2(t)$ : تعداد افراد عادی حاضر در صف خدمت‌گیری

$LT(t)$ : تعداد افراد عادی در صف خدمت‌گیری تیم فنی

$LTS(t)$ : تعداد افراد ویژه در صف خدمت‌گیری تیم فنی

$LRS(t)$ : تعداد افراد ویژه در صف تماس مجدد

$LR(t)$ : تعداد افراد عادی در صف تماس مجدد

$M(t)$ : شماره شیفت (بدین صورت که اگر باقی‌مانده آن بر ۳، برابر ۱ باشد، در شیفت اول، باقی‌مانده بر ۳، برابر ۲ باشد، در شیفت دوم و باقی‌مانده بر ۳، برابر صفر باشد، در شیفت سوم هستیم).

### ۱-۲-۳ پیشامدها

پیشامد عبارت است از هر اتفاقی که حالت سیستم را تغییر دهد. موارد زیر پیشامدهای ملاحظه‌شده در این گزارش از پروژه هستند.

- ورود کاربران ( $A$ )
- اتمام تماس و خدمت‌گیری کاربران ( $C$ )
- ترک ناگهانی صف پس از خسته‌شدن از انتظار ( $O$ )
- تغییر شیفت ( $S$ ) که در هر ۴۸۰ دقیقه رخ می‌دهد.

و در آخر، پایان شبیه‌سازی ( $End$ ) در مدت‌زمان  $T_e$  وجود دارد.

### ۱-۲-۴ فعالیت‌ها

فعالیت‌ها در توصیف ایستای شبیه‌سازی به یک بازه‌ی زمانی با طول مشخص اشاره می‌کنند که مدت زمان آن‌ها پس از مشخص شدن زمان شروعشان به‌دست خواهد آمد.

- مدت‌زمان بین واردشدن تا ترک ناگهانی صف (زمان  $u$  با توزیع  $u_{[5,x^2]}$ )
- خدمت‌دهی کارشناسان متخصص (زمان  $d_1$  با توزیع  $Exp(\frac{1}{3})$ )
- خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار (زمان  $d_2$  با توزیع  $Exp(\frac{1}{7})$ )
- خدمت‌دهی کارشناسان تیم فنی (زمان  $d_3$  با توزیع  $Exp(\frac{1}{10})$ )

<sup>2</sup>  $x = \text{Max}(25, L_i), i = 1, 2$

<p>شیفت اول، در روزی که شبکه، اخلاص ندارد (زمان <math>i_{1n}</math> با توزیع <math>Exp(\frac{1}{3})</math>)</p> <p>شیفت دوم، در روزی که شبکه، اخلاص ندارد (زمان <math>i_{2n}</math> با توزیع <math>Exp(1)</math>)</p> <p>شیفت سوم، در روزی که شبکه، اخلاص ندارد (زمان <math>i_{3n}</math> با توزیع <math>Exp(\frac{1}{2})</math>)</p>	} فاصله بین ورود کاربران
<p>شیفت اول، در روزی که شبکه، اخلاص دارد (زمان <math>i_{1y}</math> با توزیع <math>Exp(\frac{1}{2})</math>)</p> <p>شیفت دوم، در روزی که شبکه، اخلاص دارد (زمان <math>i_{2y}</math> با توزیع <math>Exp(2)</math>)</p> <p>شیفت سوم، در روزی که شبکه، اخلاص دارد (زمان <math>i_{3y}</math> با توزیع <math>Exp(1)</math>)</p>	

### ۵-۲-۱ تأخیرها

تأخیرها فواصل زمانی با طول نامشخص هستند که این زمان موقعی مشخص می‌شود که این بازه‌ی زمانی به پایان رسد.

- زمانی که کاربران در صف خدمت‌گیری خود سپری می‌کنند.

## ۱-۲-۶ آماره‌های تجمعی

برای محاسبه‌ی برخی از معیارهای عملکرد مدنظر مدیریت، نیاز به محاسبه و جمع‌آوری چندین آماره‌ی تجمعی داریم که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم.

شماره	آمارهٔ تجمعی	قالب اسم در کد	توضیح
از ۱ تا ۳	زمان‌های مشغول‌بودن کارشناسان	** Servers Busy Time	کل زمان‌هایی را که هر نوع کارشناس، مشغول خدمت‌دهی است، می‌شمارد.
از ۴ تا ۹	زمان‌های سپری‌شده به انتظار توسط انواع کاربران در صف انواع کارشناسان	**Users- **Queue Waiting Time	کل زمان‌هایی که نوع خاصی از کاربران، در صف نوع خاصی از کارشناسان، منتظر می‌مانند.
۱۰	زمانی که کاربران ویژه در سیستم گذرانده‌اند	Time VIP Users Spend In System	کل زمان‌هایی را که کاربران ویژه در سیستم بوده‌اند، به‌صورت تجمعی محاسبه می‌کند.
از ۱۱ تا ۱۲	کاربرانی که بدون انتظار وارد خدمت‌دهی توسط کارشناس متخصص یا فنی شده‌اند	** VIP Service Starters	از این دو آماره، برای یافتن کاربرانی استفاده می‌شود که هیچ‌وقت منتظر نمانده‌اند.
از ۱۳ تا ۱۸	بیشینهٔ صف انواع کاربران، نزد انواع کارشناسان	Max **Users- **Queue Length	این آماره به‌صورت تجمعی، هرگاه طول صف از کل تاریخچهٔ خود، بیشتر شود، تغییر می‌کند و به‌منظور نام خود استفاده می‌شود.
از ۱۹ تا ۲۲	تعداد کل انواع کاربران که به صف انواع کارشناسان وارد شده‌اند	Cum. **Users- **Queue Length	از این آماره‌ها برای یافتن میانگین مدت‌زمان انتظار هر نوع از کاربران در نزد هر نوع از کارشناسان، استفاده می‌کنیم.
از ۲۳ تا ۲۸	حداکثر مدت‌زمانی که انواع کاربران در صف انواع کارشناسان، انتظار کشیده‌اند	Max **Users- **Queue Waiting Time	از این آماره به‌منظور نام خود استفاده می‌شود.
از ۲۹ تا ۳۴	مساحت زیر نمودار طول صف انواع کاربران نزد انواع کارشناسان	Area Under **Users- **Queue Length Curve	از این آماره‌ها برای یافتن میانگین طول صف انواع کاربران نزد انواع کارشناسان استفاده می‌گردد.
از ۳۵ تا ۳۷	تعداد کاربرانی که در هر شیفت، خسته شده و صف را ترک کرده‌اند	Got Tired Users In Shift *	کل تعداد کاربرانی که در هر شیفت، از انتظار خسته شده‌اند و صف را ترک کرده‌اند. از این آماره‌ها برای یافتن شیفتی با بیشترین تعداد ترک صف، استفاده می‌شود.
۳۸	مدت‌زمانی که هر کاربر خسته‌شده، در صف به انتظار نشسته‌است	Got tired waiting time	از این آماره برای یافتن میانگین مدت‌زمان انتظار کاربرانی استفاده می‌شود که از انتظار خسته شده و صف را ترک کرده‌اند.

### ۱-۳ فرض‌ها و ساده‌سازی‌ها

۱- قبل از شروع به شبیه‌سازی، مرکز تماس، کاملاً خالی از کاربر است و دقیقاً در ابتدای شبیه‌سازی (لحظه صفر)، یک کاربر وارد سیستم شده و خدمت‌دهی به او آغاز می‌شود. یعنی طول تمام صف‌ها صفر است و تمام کارشناسان (به جز یک کارشناس، بسته به نوع اولین کاربر وارد شده)، در دسترس و آماده هستند.

$$(L_1 = 0, L_2 = 0, LTS = 0, LT = 0, LRS = 0, LR = 0).$$

۲- مدت‌زمان تغییر شیفت، ناچیز است؛ یعنی هیچ وقفه‌ای برای تعویض شیفت کارشناسان، لازم نیست.

۳- اگر در حین خدمت‌دهی کارشناسی به یک کاربر، تعویض شیفت داشته باشیم، کارشناس بعدی، همان خدمتی را که کارشناس قبلی می‌داده است، ادامه می‌دهد (عدم وقفه خدمت به کاربر).

۴- طبق صورت سوال پروژه، در صورت در دسترس بودن هر دو نوع کارشناس ویژه و تازه‌کار، کاربر عادی از کارشناس تازه‌کار خدمت می‌گیرد.

۵- صف تیم فنی متشکل از هر دو کاربر ویژه و عادی است و کاربر ویژه نسبت به کاربر عادی اولویت داشته و به این ترتیب در صف خدمت می‌گیرند.

۶- زمانی بین اتمام خدمت‌دهی کاربر و شروع خدمت‌دهی اولین کاربر موجود در صف، اتلاف نمی‌شود.

۷- در اتمام تماس و خدمت‌گیری کاربر از کارشناس تیم فنی، دیگر در آن لحظه نیازی به بررسی دوباره توسط تیم فنی ندارند.

۸- مقدار اولیه  $M$ ، برابر ۱ است و شبیه‌سازی از دقیقه صفر آغاز می‌شود.

۹- در صورت تماس مجدد یک کارشناس با کاربری در صف تماس مجدد، کاربر حتماً پاسخ‌گو خواهد بود.

۱۰- در صورت استفاده‌ی یک کاربر از گزینه‌ی تماس مجدد، وجود این کاربر همچنان در سیستم لحاظ خواهد شد.

۱۱- تمامی ماه‌ها، ۳۰ روزه در نظر گرفته شده‌اند.

## ۱-۴ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

### ۱- میانگین زمان خدمت‌گیری کاربران

دلیل اهمیت: خوب است بدانیم به‌طور میانگین، چه مقدار زمان صرف خدمت‌دهی به یک کاربر می‌شود. می‌توانیم این‌گونه برآورد دقیق‌تری از تعداد کاربرانی در طی یک روز داشته‌باشیم که می‌توانیم با توجه به ظرفیت فعلی خود، به آن‌ها خدمت دهیم.<sup>۳</sup>

### ۲- میانگین زمان انتظار کاربر عادی در صف

دلیل اهمیت: یکی از مهم‌ترین موضوعات این است که بدانیم یک کاربر عادی، به‌طور میانگین چه مدت‌زمانی در صف می‌ماند؛ زیرا معیاری است برای این‌که آیا تعداد کاربران و تعداد کارشناسان، متناسب است یا خیر. برای محاسبه می‌توان مجموع زمان‌هایی را که کاربران عادی در صف عادی انتظار کشیده‌اند، بر تعداد کاربران عادی که وارد صف عادی شده‌اند، تقسیم کرد.<sup>۴</sup>

### ۳- میانگین زمان انتظار کاربر ویژه در صف

دلیل اهمیت: با توجه به اهمیت کاربران ویژه، مهم است بدانیم یک کاربر ویژه، چه مدت‌زمانی در صف می‌ماند. در صورت قابل‌توجه‌بودن این زمان، می‌توانیم تصمیم به اضافه‌کردن کارشناس متخصص بگیریم. برای محاسبه می‌توان مجموع زمان‌هایی را که صف کاربران ویژه در صف عادی خود انتظار کشیده‌اند، بر تعداد کاربران ویژه‌ای که وارد صف عادی شده‌اند، تقسیم کرد.<sup>۵</sup>

این معیار، به سه دسته‌بندی مختلف برای سه نوع کارشناس متخصص، تازه‌کار و فنی تقسیم می‌شود.<sup>۳</sup>

افرادی که بدون انتظار خدمت‌گیری خود را آغاز کرده‌اند نیز در قسمت تعداد کاربران محاسبه می‌شوند.<sup>۴</sup>

افرادی که بدون انتظار خدمت‌گیری خود را آغاز کرده‌اند نیز در قسمت تعداد کاربران محاسبه می‌شوند.<sup>۵</sup>

#### ۴- میانگین زمان حضور کاربران در سیستم

دلیل اهمیت: کاربر در نهایت، آن مقدار زمانی را که صرف تماس کرده‌است، در ذهن خود ثبت می‌کند. به‌طور مثال اگر ۲ دقیقه در صف بماند و ۵ دقیقه با کارشناس صحبت کند، نهایتاً او می‌داند که ۷ دقیقه را صرف تماس کرده‌است. در نتیجه مهم است بدانیم به‌طور میانگین، کاربران چقدر زمان صرف تماس می‌کنند.

برای محاسبه می‌توان مجموع فواصل زمان ورود و خروج کاربر را حساب و بر تعداد کاربران تقسیم کرد.

#### ۵- میانگین طول هر صف

دلیل اهمیت: طولانی‌بودن یا نبودن صف، ادراک خوبی به ما می‌دهد که آیا مرکز تماس متناسبی داریم یا خیر. یعنی آیا سیستم ما، از طول صف معقولی برخوردار است، یا این که طول صف عددی بسیار بزرگ است. شاید حتی اگر میانگین طول صف ما، از استانداردهای جهانی، بسیار بسیار کم‌تر باشد و ترتیب‌دادن مرکز تماس، برای ما هزینه‌بر باشد، بتوانیم به تعدیل کردن نیروهای مرکز تماس نیز فکر کنیم.

برای محاسبه زمان را به بازه‌هایی که طول صف به‌صورت متمادی یکسان است، تقسیم می‌کنیم. برای هر بازه، طول صف را در زمان بازه ضرب می‌کنیم و این مقدار را برای همه بازه‌ها جمع می‌کنیم. سپس عدد به‌دست‌آمده را بر مقدار تجمعی زمان‌ها، تقسیم می‌کنیم.

#### ۶- حداکثر طول هر صف

دلیل اهمیت: در تصمیم‌گیری خود، خوب است بدانیم در بحرانی‌ترین حالت، حداکثر چه تعداد کاربر در هر صف حضور دارند. زیرا رفتار سیستم و کاربران در زمان‌های بحرانی، حائز اهمیت است و می‌تواند معیار تصمیم‌گیری برای مشخص کردن حدود و مرزها باشد.

محاسبه، از طریق یافتن مقدار بیشینه  $L_i$  در کل شبیه‌سازی صورت می‌گیرد.

#### ۷- نسبت تعداد کاربرانی که هرگز در انتظار نمی‌مانند، به کل کاربران

دلیل اهمیت: وقتی بدانیم چه درصدی از کل کاربرانی که تماس می‌گیرند، تجربه درصف‌ماندن و انتظارکشیدن را ندارند، می‌توانیم بفهمیم آیا مرکز تماس ما، به‌اندازه کافی خلوت است یا خیر.

**۸- نسبت تعداد کاربرانی که از گزینه تماس مجدد استفاده می‌کنند، به کل کاربرانی که در صف قرار می‌گیرند**

دلیل اهمیت: این آماره به ما کمک می‌کند بدانیم چقدر استفاده از گزینه تماس مجدد، محبوب کاربران است و آیا تصمیم ما در جهت فراهم کردن این امکان برای کاهش نارضایتی کاربران ناشی از مدت انتظار در صف، صحیح بوده است یا خیر.

**۹- میانگین زمان انتظار کاربران تا استفاده از گزینه تماس مجدد**

دلیل اهمیت: خوب است بدانیم به‌طور میانگین، چه مدت زمانی طول می‌کشد تا کاربر تصمیم بگیرد از گزینه تماس مجدد استفاده کند. این موضوع در درک بهتر رفتار کاربران، تأثیرگذار است. زیرا می‌توانیم آستانه تحمل آن‌ها را بسنجیم.

**۱۰- میانگین تعداد افراد ترک‌کننده صف**

دلیل اهمیت: خوب است بدانیم در مدت شبیه‌سازی، چه تعداد افرادی صف را ترک می‌کنند. در صورتی که صرف‌نظر از نسبت آن به کل، عدد قابل توجهی باشد، باید راهکارهایی اندیشید؛ راهکارهایی مانند افزایش تعداد کارشناسان.

**۱۱- نسبت تعداد کاربرانی که سیستم را ناگهان ترک می‌کنند، به کل کاربران**

دلیل اهمیت: این نسبت می‌تواند به ما نشان دهد که آیا مشکلات مرکز تماس، جهان‌شمول است یا خیر؛ بزرگ بودن این آماره، به ما سیگنال‌هایی در راستای افزایش تعداد کارشناسان می‌دهد؛ زیرا نشان می‌دهد آیا ترک صف، بسته به سلیقه و ذائقه افراد است، یا حسی مشترک و برگرفته از نقایص مرکز تماس است.



## ۱۲- میانگین زمان انتظار در صف تا ترک ناگهانی صف

دلیل اهمیت: خوب است بدانیم کاربری که تحمل انتظار در صف را ندارد، به‌صورت میانگین چه مقدار انتظار را به جان می‌خورد. این زمان، می‌تواند به‌عنوان یک نقطه بحرانی و مرزی، در تصمیمات مان مورد استفاده قرار گیرد.

## ۱۳- بهره‌وری کارشناسان و سیستم

قطعاً یکی از اهداف شبیه‌سازی بررسی میزان بهره‌وری سیستمی است که در حال شبیه‌سازی آن هستیم. با داشتن مقدار این معیار، می‌توان برای بهبود و افزایش آن اقدامات مختلفی را برنامه‌ریزی نمود.

## ۱-۵ معیارهای موردنظر مدیریت مجموعه

### ۱- میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم

$$VIP \text{ users average time in system} = \frac{\text{Time VIP Users Spend In System}}{\text{total number of VIP users}}$$

### ۲- درصد کاربران ویژه که هیچ گاه در انتظار نمی‌مانند

$$\text{percentage of VIP users without waiting} = \frac{\text{total number of VIP users without waiting}}{\text{total number of VIP users}}$$

### ۳- بیشینه طول صف کاربران (به تفکیک نوع کاربر و نوع صف)

برای به‌دست‌آوردن این معیار، کافی است آماره‌ای تجمعی را هرگاه که طول صف، از مقدار آماره تجمعی بیشتر شد، برابر با طول صف قرار دهیم.

### ۴- میانگین طول صف کاربران (به تفکیک نوع کاربر و نوع صف)

$$\text{Average Queue Length} = \frac{\text{Area Under Queue Length Curve}}{\text{simulation time}}$$

### ۵- بیشینه مدت‌زمان انتظار کاربران (به تفکیک نوع کاربر و نوع صف)

برای به‌دست‌آوردن این معیار، کافی است آماره‌ای تجمعی را هرگاه که مدت‌زمان انتظار یک کاربر، از مقدار این آماره تجمعی بیشتر شد، برابر با طول صف قرار دهیم.

۶- میانگین مدت‌زمان انتظار کاربران (به تفکیک نوع کاربر و نوع صف)

$$\text{Average Queue Waiting Time} = \frac{\text{Queue Waiting Time}}{\text{Cum. Queue Length}}$$

۷- میانگین بهره‌وری هر دسته از کارشناسان

$$\text{servers' utilization} = \frac{\text{Servers Busy Time}}{(\text{number of servers}) \times \text{simulation time}}$$

## ۵-۱ توصیف پویای سیستم شبیه‌سازی

با رسم فلوچارت پیشامدهای سیستم، یک توصیف پویا از سیستم را می‌توانیم داشته‌باشیم. توصیف پویا از این سیستم در این گزارش توسط نرم‌افراز ویزیو<sup>۶</sup> طراحی شده است و پیش‌برد هر یک از پیشامدها را در زمان مورد بررسی قرار می‌دهد.

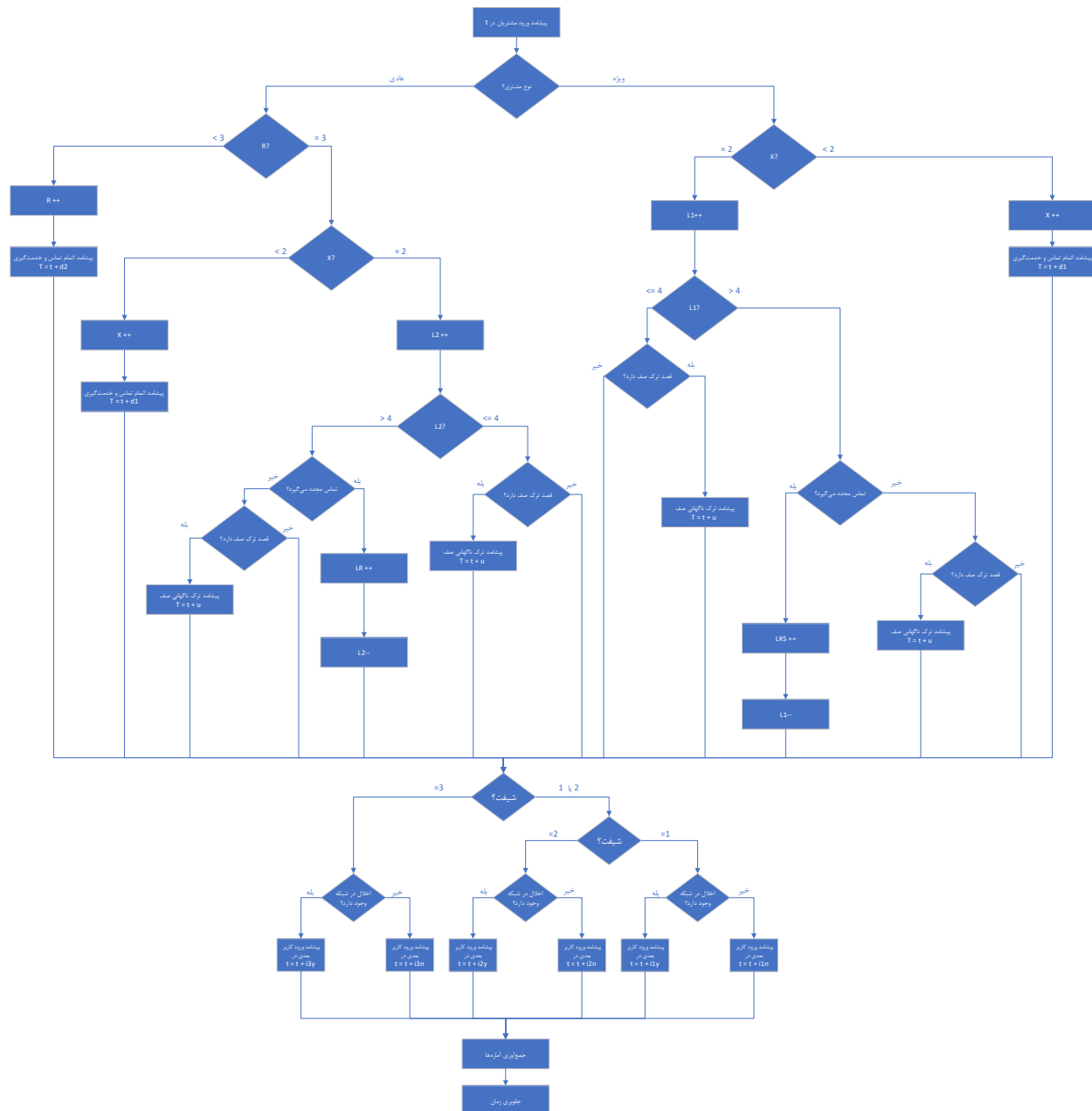
همانطور که در قسمت ۱-۲-۳ ذکر شد، پیشامدهای این سیستم شامل پیشامد ورود کاربران به سیستم، اتمام تماس کاربران، ترک ناگهانی صف پس از خسته‌شدن از انتظار و تغییر شیفت است. لازم به ذکر است که پیشامدها و فلوچارت‌های مربوط به آن‌ها با تغییر سیستم در فصل سوم پیش رو، دچار تغییر می‌شوند که به دلیل عدم ضرورت در این گزارش آورده نشده‌اند.

تک‌تک اجزای یک فلوچارت یا دیاگرام جریان باید قابل انتقال به برنامه‌ی شبیه‌سازی باشند و موارد توصیفی در نمودارها نیز با استفاده از موارد تولید اعداد تصادفی و ... انتقال داده شده‌اند.

---

<sup>۶</sup> Visio Microsoft

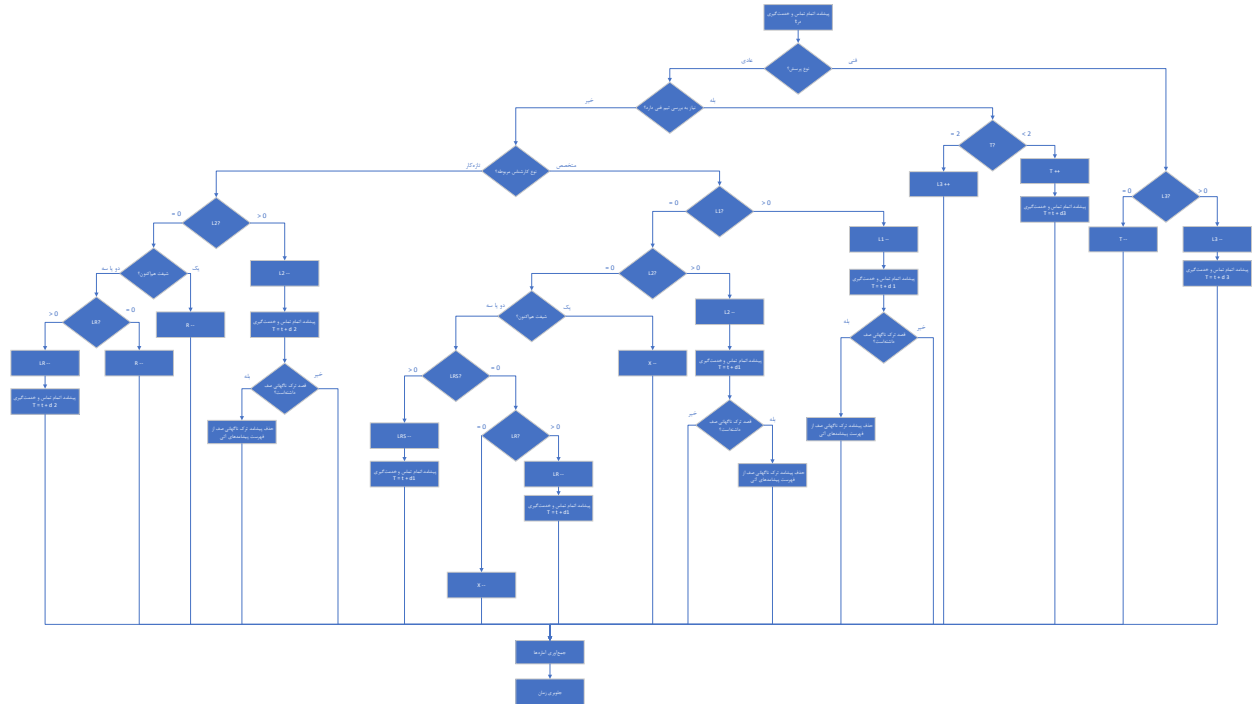
### نمودار 1- پیشامد ورود کاربران



برای به‌تر دیده‌شدن فلوچارت‌ها، تا حد نیاز، بزرگ‌نمایی کنید. ضمن آن‌که در فایل زیپ نیز فایل‌های نمودارها مستقلاً موجودند.<sup>7</sup>

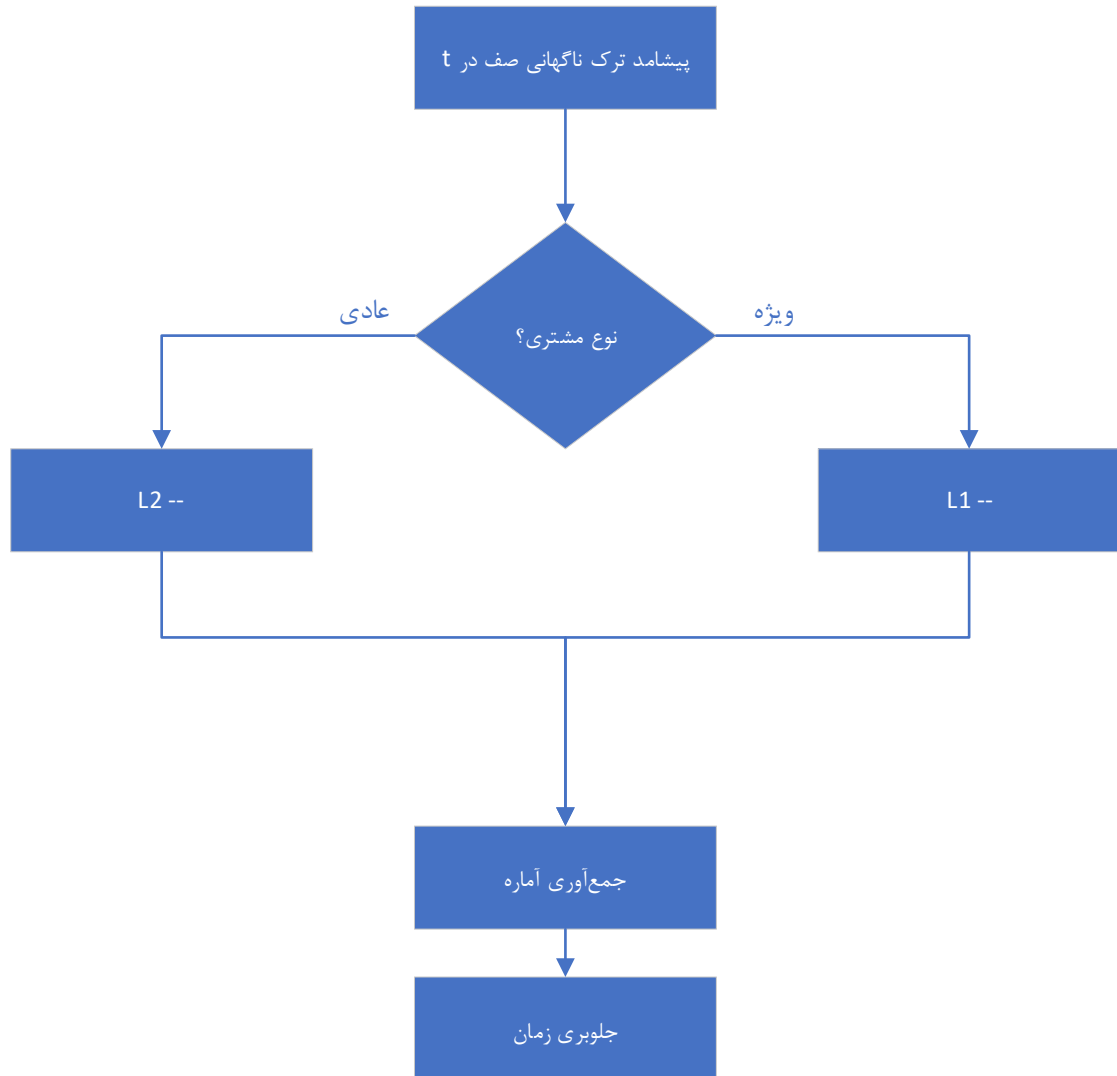
# ۱-۵-۲ فلوجارت پیشامد اتمام تماس کاربران (C) در زمان t

نمودار ۲- پیشامد اتمام تماس کاربران



## ۱-۵-۳ فلوجارت پیشامد ترک ناگهانی صف پس از خسته‌شدن از انتظار (O) در زمان t

نمودار 3- پیشامد ترک ناگهانی صف c



## ۱-۵-۴ فلوجارت پیشامد تغییر شیفت (S) در زمان t



نمودار 4- پیشامد تغییر شیفت

## ۱-۶ ساختار بندی لیست پیشامدهای آتی

یک لیست شامل چندتایی‌های مرتب، لیست پیشامدهای آتی ( $FEL^8$ ) در سیستم را نشان می‌دهد. مؤلفه اول هر چندتایی مرتب<sup>۹</sup>، پیشامد موردنظر، مؤلفه دوم آن، زمان رخدادن پیشامد متناظر با آن و مؤلفه سوم در صورت وجود، نوع کاربر مربوطه را شامل می‌شود. همچنین این چندتایی‌های مرتب، به ترتیب نزدیک‌ترین زمان رخدادن، در لیست مرتب می‌شوند. اعلان پیشامدها<sup>۱۰</sup>:

$(A_i, t_1, U_k)$ : پیشامد ورود کاربر  $i$  ام از نوع  $k$ ؛ اگر  $k$  صفر باشد، کاربر عادی و در صورت ویژه بودن کاربر،  $k$  برابر یک است.

$(C_j, t_2, U_k)$ : پیشامد اتمام تماس و خدمت‌گیری کاربر  $j$  ام از نوع  $k$ .

$(O_z, t_3, U_k)$ : پیشامد ترک ناگهانی صف کاربر  $z$  ام از نوع  $k$ .

$(End, T_e)$ : پیشامد پایان شبیه‌سازی

$(S_x, T_s)$ : پیشامد پایان شیفت  $x$  ام در  $T_s$ ؛ به طوری که  $T_s$ ، ضربی از ۸ است (بدین صورت که اگر باقی‌مانده  $x$  بر ۳ برابر ۱ باشد، بر شیفت اول دلالت دارد و اگر باقی‌مانده بر ۳، برابر ۲ باشد، بر شیفت اول و اگر باقی‌مانده بر ۳، برابر صفر باشد، بر شیفت سوم دلالت دارد).

## ۱-۷ لیست پیشامدهای آتی در لحظه آغازی شبیه‌سازی

در ابتدای شبیه‌سازی، پیشامدهای اتمام تماس اولین کاربر، ورود کاربر بعدی، پایان شیفت اول و پایان شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی می‌شوند.

$$FEL(t = 0) = [(C_1, t_1, U_k), (A_2, t_2, U_k), (S_1, 480), (End, T_e)]$$

<sup>8</sup> Future Events List

<sup>9</sup> Tuple

<sup>10</sup> Events Notice



## فصل ۲: فاز دوم پروژه

۲-۱ تعیین توزیع‌های  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  و پارامترهای مربوط به آن‌ها

همان‌طور که در فاز اول پروژه عنوان شد، زمان خدمت‌دهی کارشناسان متخصص، تازه‌کار و فنی، به‌ترتیب از توزیع‌های  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  پیروی می‌کند. برای مشخص کردن این توزیع‌ها، از یک نمونه داده ۹۹۹ تایی، شامل زمان ورود کاربران به صف، نوع کاربر، نوبت خدمت‌گیری و زمان شروع و پایان مکالمه بهره بردیم.

زمان پایان مکالمه	زمان شروع مکالمه	نوبت خدمت‌گیری	نوع کاربر	زمان ورود به صف
5:04:32 PM	5:02:40 PM	1	Normal	4:58:33 PM
12:52:29 PM	12:43:55 PM	1	Normal	12:40:30 PM
1:42:28 AM	1:37:36 AM	1	Normal	1:34:05 AM
6:58:40 AM	6:51:47 AM	1	Normal	6:48:20 AM
2:57:23 AM	2:49:59 AM	1	Normal	2:43:45 AM
1:01:50 AM	12:48:14 AM	1	Normal	12:44:11 AM
7:28:38 PM	7:26:53 PM	1	VIP	7:25:17 PM
3:28:07 PM	3:27:44 PM	1	Normal	3:25:45 PM
8:13:03 PM	8:12:46 PM	1	Normal	8:06:38 PM
10:10:45 AM	10:04:43 AM	1	Normal	10:01:26 AM
5:56:31 PM	5:50:46 PM	1	Normal	5:46:36 PM
4:12:59 AM	3:41:13 AM	2	VIP	3:35:50 AM
7:29:16 PM	7:09:39 PM	1	Normal	7:06:41 PM
1:14:06 AM	1:06:42 AM	1	VIP	1:06:03 AM
5:25:47 AM	5:18:45 AM	1	VIP	5:16:04 AM
9:32:16 AM	9:31:22 AM	1	Normal	9:27:37 AM
12:38:34 PM	12:35:41 PM	1	Normal	12:30:32 PM

جدول ۴- داده‌های ورودی برای تعیین توزیع

فایل این جداول قابل بازیابی نبودند. بنابراین فونت و رنگ آن‌ها با سایر گزارش متفاوت است.<sup>11</sup>

با نگاه به داده‌ها، متوجه می‌شویم که تعدادی کاربر، وارد صف شده‌اند اما شروع به خدمت‌گیری نکرده‌اند؛ در نتیجه این کاربران را از داده‌هایمان حذف کردیم. هدف ما این است که زمان خدمت‌دهی هر کارشناس را به تفکیک نوع آن‌ها داشته‌باشیم؛ در نتیجه با اضافه کردن یک ستون به داده‌هایمان، اختلاف میان زمان پایان مکالمه و زمان شروع مکالمه را به دست آوردیم و آن را زمان خدمت‌دهی نامیدیم. این زمان، به صورت hh:mm:ss نشان داده می‌شد که برای خوش‌دست‌بودن داده‌ها، لازم بود زمان خدمت‌دهی را به ثانیه داشته‌باشیم. در نتیجه در ستونی دیگر، زمان خدمت‌دهی را در  $24 \times 60 \times 60 = 86400$  ضرب کردیم تا زمان خدمت‌دهی به ثانیه به دست بیاید.

زمان خدمت‌دهی به ثانیه	زمان خدمت‌دهی	زمان پایان مکالمه	زمان شروع مکالمه	نوبت خدمت‌گیری	نوع کاربر	زمان ورود به صف
112	00:01:52	17:04:32	17:02:40	1	Normal	16:58:33
514	00:08:34	12:52:29	12:43:55	1	Normal	12:40:30
292	00:04:52	01:42:28	01:37:36	1	Normal	01:34:05
413	00:06:53	06:58:40	06:51:47	1	Normal	06:48:20
444	00:07:24	02:57:23	02:49:59	1	Normal	02:43:45
816	00:13:36	01:01:50	00:48:14	1	Normal	00:44:11
105	00:01:45	19:28:38	19:26:53	1	VIP	19:25:17
23	00:00:23	15:28:07	15:27:44	1	Normal	15:25:45
17	00:00:17	20:13:03	20:12:46	1	Normal	20:06:38
362	00:06:02	10:10:45	10:04:43	1	Normal	10:01:26
345	00:05:45	17:56:31	17:50:46	1	Normal	17:46:36
1906	00:31:46	04:12:59	03:41:13	2	VIP	03:35:50
1177	00:19:37	19:29:16	19:09:39	1	Normal	19:06:41
444	00:07:24	01:14:06	01:06:42	1	VIP	01:06:03
422	00:07:02	05:25:47	05:18:45	1	VIP	05:16:04
54	00:00:54	09:32:16	09:31:22	1	Normal	09:27:37
173	00:02:53	12:38:34	12:35:41	1	Normal	12:30:32

جدول ۵- داده‌ها همراه با زمان خدمت‌دهی به ثانیه

سپس با این فرض که تمام کاربران عادی، از کارشناسان تازه‌کار خدمت گرفته‌اند، با اعمال فیلترهایی، داده‌ها را به ۳ دسته کارشناس متخصص، کارشناس تازه‌کار و کارشناس فنی، تفکیک کردیم.

بدین صورت که اگر نوع کاربر، VIP بوده و نوبت اول خدمت‌گیری او باشد، مربوط به کارشناس متخصص است.

ردیف	زمان خدمت‌دهی به ثانیه	زمان خدمت‌دهی	زمان پایان مکالمه	زمان شروع مکالمه	نوبت خدمت‌گیری	نوع کاربر	زمان ورود به صف
1	105	00:01:45	19:28:38	19:26:53	1	VIP	19:25:17
2	444	00:07:24	01:14:06	01:06:42	1	VIP	01:06:03
3	422	00:07:02	05:25:47	05:18:45	1	VIP	05:16:04
4	100	00:01:40	13:01:04	12:59:24	1	VIP	12:58:03
5	327	00:05:27	10:40:17	10:34:50	1	VIP	10:33:15
6	59	00:00:59	06:15:03	06:14:04	1	VIP	06:11:58
7	26	00:00:26	17:19:14	17:18:48	1	VIP	17:17:07
8	237	00:03:57	08:31:45	08:27:48	1	VIP	08:27:39
9	242	00:04:02	03:49:44	03:45:42	1	VIP	03:43:35
10	94	00:01:34	02:25:38	02:24:04	1	VIP	02:22:00
11	13	00:00:13	02:03:02	02:02:49	1	VIP	02:01:07
12	47	00:00:47	12:14:01	12:13:14	1	VIP	12:09:53
13	446	00:07:26	07:19:43	07:12:17	1	VIP	07:09:28
14	46	00:00:46	08:49:35	08:48:49	1	VIP	08:45:41
15	131	00:02:11	12:43:47	12:41:36	1	VIP	12:39:43
16	718	00:11:58	19:19:42	19:07:44	1	VIP	19:06:11
17	160	00:02:40	20:49:09	20:46:29	1	VIP	20:43:40

جدول 6- داده‌های مربوط به کارشناسان متخصص

و اگر نوع کاربر، Normal بوده و نوبت اول خدمت‌گیری او باشد، مربوط به کارشناس تازه‌کار است.

ردیف	زمان خدمت‌دهی به ثانیه	زمان خدمت‌دهی	زمان پایان مکالمه	زمان شروع مکالمه	نوبت خدمت‌گیری	نوع کاربر	زمان ورود به صف
1	112	00:01:52	17:04:32	17:02:40	1	Normal	16:58:33
2	514	00:08:34	12:52:29	12:43:55	1	Normal	12:40:30
3	292	00:04:52	01:42:28	01:37:36	1	Normal	01:34:05
4	413	00:06:53	06:58:40	06:51:47	1	Normal	06:48:20
5	444	00:07:24	02:57:23	02:49:59	1	Normal	02:43:45
6	816	00:13:36	01:01:50	00:48:14	1	Normal	00:44:11
7	23	00:00:23	15:28:07	15:27:44	1	Normal	15:25:45
8	17	00:00:17	20:13:03	20:12:46	1	Normal	20:06:38
9	362	00:06:02	10:10:45	10:04:43	1	Normal	10:01:26
10	345	00:05:45	17:56:31	17:50:46	1	Normal	17:46:36
11	1177	00:19:37	19:29:16	19:09:39	1	Normal	19:06:41
12	54	00:00:54	09:32:16	09:31:22	1	Normal	09:27:37
13	173	00:02:53	12:38:34	12:35:41	1	Normal	12:30:32
14	580	00:09:40	12:53:38	12:43:58	1	Normal	12:41:30
15	245	00:04:05	21:57:11	21:53:06	1	Normal	21:48:31
16	314	00:05:14	09:26:41	09:21:27	1	Normal	09:17:36
17	72	00:01:12	01:21:55	01:20:43	1	Normal	01:16:59

جدول 7- داده‌های مربوط به کارشناسان تازه‌کار

و اگر نوبت دوم خدمت‌گیری کاربر باشد، مربوط به کارشناس فنی است.

ردیف	زمان ورود به صف	نوع کاربر	نوبت خدمت‌گیری	زمان شروع مکالمه	زمان پایان مکالمه	زمان خدمت‌دهی	زمان خدمت‌دهی به ثانیه
1	03:35:50	VIP	2	03:41:13	04:12:59	00:31:46	1906
2	22:10:10	Normal	2	22:30:19	22:38:59	00:08:40	520
3	06:38:04	VIP	2	06:42:41	06:47:23	00:04:42	282
4	06:54:46	Normal	2	07:22:10	07:45:31	00:23:21	1401
5	10:28:50	Normal	2	10:51:01	11:01:36	00:10:35	635
6	09:44:27	VIP	2	09:51:09	10:01:33	00:10:24	624
7	10:46:47	Normal	2	11:09:14	11:15:49	00:06:35	395
8	05:50:38	Normal	2	06:15:57	06:25:57	00:10:00	600
9	13:08:10	Normal	2	13:34:54	13:46:52	00:11:58	718
10	00:02:42	Normal	2	00:18:56	00:21:41	00:02:45	165
11	16:00:24	VIP	2	16:01:02	16:06:12	00:05:10	310
12	11:05:10	Normal	2	11:39:52	11:51:06	00:11:14	674
13	02:28:48	VIP	2	02:33:30	02:44:22	00:10:52	652
14	14:32:09	VIP	2	14:41:21	14:43:22	00:02:01	121
15	04:03:14	VIP	2	04:04:19	04:20:46	00:16:27	987
16	13:43:50	VIP	2	13:48:02	14:09:40	00:21:38	1298
17	11:58:10	Normal	2	12:22:06	12:41:55	00:19:49	1189

جدول ۸- داده‌های مربوط به کارشناسان فنی

حالا داده‌های ما برای به‌دست‌آوردن بهترین توزیعی که متناسب با هر یک از مجموعه اعداد باشد، آماده است.

توزیعی که برای  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  به‌دست آوردیم، بدین صورت است:

$$D_1 = Exp(0.005644)$$

$$D_2 = Exp(0.002313)$$

$$D_3 = Exp(0.001694)$$

روش به‌دست‌آوردن توزیع  $D_1$  را توضیح می‌دهیم؛ روش به‌دست‌آوردن باقی توزیع‌ها نیز به همین صورت است.<sup>۱۲</sup>

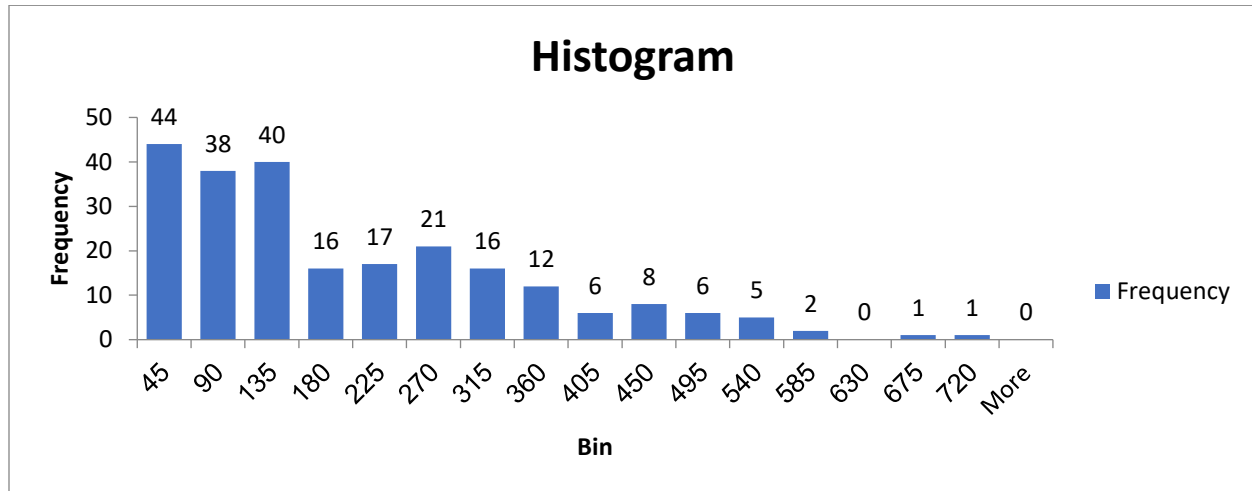
داده‌های مربوط به کارشناس متخصص، از ۲۳۳ عدد تشکیل شده‌است که بیشترین آن‌ها ۷۱۸ و کمترین آن‌ها صفر است. ابتدا می‌خواهیم هیستوگرامی رسم کنیم تا تکرار<sup>۱۳</sup> اعداد را در بازه‌های مختلف ببینیم. برای این کار لازم است طول بازه‌ها را مشخص کنیم. استفاده از فرمول زیر به‌عنوان طول بازه‌ها، می‌تواند مناسب باشد.

<sup>۱۲</sup> روند کامل به‌دست‌آوردن این توزیع‌ها را می‌توانید در فایل اکسل ضمیمه شده مشاهده نمایید.

<sup>۱۳</sup> Frequency

$$Bin = \frac{Max - Min}{\sqrt{n}} = \frac{718 - 0}{\sqrt{233}} \approx 45$$

در نتیجه طول بازه‌ها را برابر ۴۵ می‌گیریم و هیستوگرام مذکور را رسم می‌کنیم.



نمودار ۵- هیستوگرام توزیع داده‌ها

با توجه به شمایل کلی این هیستوگرام، می‌توان حدس زد از توزیع نمایی پیروی می‌کند. در نتیجه فرض صفر را رد نکردن توزیع نمایی و فرض مقابل را رد کردن توزیع نمایی تعریف می‌کنیم. برای این که بتوانیم ببینیم که آیا اعداد ما بر توزیع نمایی، منطبق هستند یا خیر، از Q-Q Plot استفاده می‌کنیم. هم‌چنین برای آزمون درستی پارامتر به‌دست‌آمده، از تست  $\chi^2$  بهره می‌بریم.

با فرض این که توزیع، نمایی است، می‌دانیم پارامتر توزیع نمایی، بدین صورت به‌دست می‌آید:

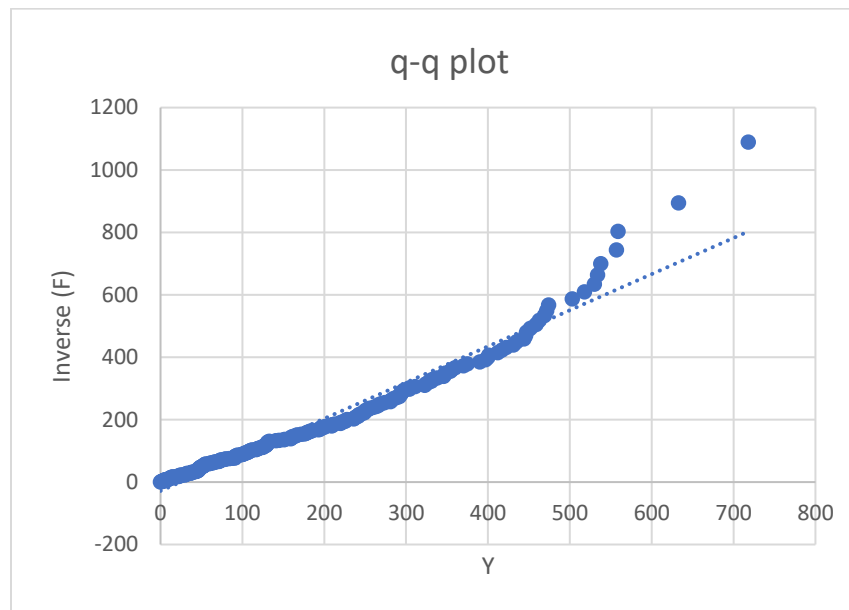
$$\lambda = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\frac{\sum_{j=1}^{233} X_j}{233}} = 0.005644$$

برای رسم Q-Q Plot، ابتدا داده‌ها ( $Y$ ) را از کوچک به بزرگ مرتب می‌کنیم و به هر کدام یک شاخص  $j$ <sup>۱۴</sup> نسبت می‌دهیم. سپس با توجه به این که توزیع، نمایی است،  $Inverse$  را مطابق فرمول زیر برای هر داده به‌دست می‌آوریم:

$$Inverse_j = -\frac{\ln(1 - \frac{j - 0.5}{n})}{\lambda}$$

<sup>14</sup> Index

سپس نمودار  $Inverse(F)$  را بر حسب  $Y$  رسم می‌کنیم تا Q-Q Plot را ببینیم.



نمودار 6- نمودار Q-Q خدمت‌دهی کارشناس متخصص

در این نمودار، هرچه داده‌های وسطی، روی خط منطبق باشند، می‌توانیم مطمئن‌تر شویم که توزیع مفروض ما، رد نمی‌شود. از آن‌جا که تطابق خوبی در نمودار مشاهده می‌شود، می‌توانیم بیشتر از بابت ردنشدن توزیع نمایی، مطمئن‌تر شویم.

حالا برای این‌که از غلط‌نبودن پارامتر به‌دست‌آمده برای توزیع نمایی، مطمئن شویم، از تست  $\chi^2$  بهره می‌بریم. برای این کار، باید بتوانیم مقدار آزمون کای ۲ (برای کل  $k$  بازه) را مطابق فرمول زیر به‌دست آوریم:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

برای توضیح این فرمول باید بگوییم که  $k$ ، تعداد کل بازه‌هاست.  $O_i$  نیز تعداد داده‌ای است که در بازه  $i$  ام مشاهده شده‌است.  $E_i$  نیز تعداد داده‌ای است که اگر توزیع نمایی با پارامتر مربوطه می‌داشتیم، انتظار داشتیم در بازه  $i$  ام مشاهده کنیم. پس باید این مقادیر را برای هر بازه، به‌دست آوریم. پس از این‌که این مقادیر را برای هر بازه به‌دست آوردیم، به این نکته توجه می‌کنیم که  $E_i$  هیچ بازه‌ای، کم‌تر از ۵ نباشد. در صورتی که  $E_i$  بازه یا بازه‌هایی کم‌تر از ۵ بود، آن‌قدر بازه‌ها را ادغام می‌کنیم تا بازه‌ای دیگر کم‌تر از ۵ نباشد.

سپس مقدار آزمون را با جمع کردن مقدار آزمون برای هر بازه، به دست می‌آوریم که برابر 22.14465335 می‌شود و با آماره آزمون که مطابق فرمول زیر به دست می‌آید، مقایسه می‌کنیم (فرض کرده‌ایم که  $\alpha = 0.05$ ).

$$\chi_{\alpha, k-s-1}^2 = \chi_{0.05, 6-1-1}^2 = \chi_{0.05, 4}^2 = 24.99579014$$

در نتیجه داریم:

$$\chi_0^2 = 22.14465335 < 24.99579014 = \chi_{0.05, 4}^2$$

در نتیجه فرض صفر را نمی‌توان رد کرد و می‌توانیم بگوییم  $D_1$ ، توزیع نمایی با پارامتر  $\lambda = 0.005644$  است.

باقی توزیع‌ها را نیز می‌توان به همین منوال به دست آورد.

## ۲-۲ خروجی‌های سیستم

مقادیر به‌دست‌آمده‌ی معیارهای مدنظر مدیریت مرکز تماس به‌عنوان خروجی سیستم شبیه‌سازی، برای مدت ۳۰ روز و با میانگین گرفتن از ۱۰۰ تکرار<sup>۱۵</sup> به شرح زیر است.

میانگین	معیارهای مدنظر مدیریت
۸.۸	میانگین مدت زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم (دقیقه)
۴۳.۱۳	درصد کاربران ویژه که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند
۵۱.۴۵	بیشینه طول صف کاربران عادی در صف عادی
۹.۲۱	بیشینه طول صف کاربران ویژه در صف عادی
۳۶۳.۷۳	بیشینه طول صف کاربران عادی در صف تماس مجدد
۳۱.۰۶	بیشینه طول صف کاربران ویژه در صف تماس مجدد
۱۷.۲۵	بیشینه طول صف کاربران عادی در صف فنی
۴۸۱	بیشینه طول صف کاربران ویژه در صف فنی
۱.۰۸	میانگین طول صف کاربران عادی در صف عادی
۰.۲۷	میانگین طول صف کاربران ویژه در صف عادی
۱۶.۱۵	میانگین طول صف کاربران عادی در صف تماس مجدد
۰.۴۶	میانگین طول صف کاربران ویژه در صف تماس مجدد
۰.۶۲	میانگین طول صف کاربران عادی در صف فنی
۰.۰۸	میانگین طول صف کاربران ویژه در صف فنی
۸۰.۰۸	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف عادی (دقیقه)
۲۰.۶۱	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف عادی (دقیقه)
۱۹۰۴.۴۶	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف تماس مجدد (دقیقه)
۷۵۶.۷۶	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف تماس مجدد (دقیقه)
۱۳۳.۸۴	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف فنی (دقیقه)
۴۰.۳۱	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف فنی (دقیقه)
۲۶۳	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف عادی (دقیقه)
۱.۴۶	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف عادی (دقیقه)
۵۶۰.۸	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف تماس مجدد (دقیقه)
۳۳۸.۵۲	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف تماس مجدد (دقیقه)
۹.۳۴	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف فنی (دقیقه)
۲.۷۱	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف فنی (دقیقه)
۵۰.۳۱	میانگین بهره‌وری کارشناسان متخصص
۶۸.۰۹	میانگین بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار
۴۷.۰۱	میانگین بهره‌وری کارشناسان تیم فنی
شیفت دوم	شیفت با بیش‌ترین تعداد ترک‌کننده‌ی صف
۲۹.۴۹	میانگین مدت زمان انتظار ترک‌کنندگان صف‌ها (دقیقه)

جدول ۹- خروجی‌های سیستم

<sup>15</sup> Replication



## ۲-۳ تحلیل خروجی‌های سیستم

یکی از مهم‌ترین مراحل شبیه‌سازی سیستم‌ها پس از جمع‌آوری خروجی‌ها از برنامه، تحلیل آن‌ها است. با استفاده از روش دوباره‌سازی مستقل این مقادیر خروجی به‌دست آمده‌اند. با تحلیل خروجی‌های سیستم شبیه‌سازی‌شده، عملکرد سیستم پیش‌بینی می‌گردد و موجب می‌شود که در راستای آن‌ها تصمیمات بهتری اخذ شود.

### ۲-۳-۱ میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم

اولین معیار مدنظر مدیریت مجموعه میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم است که نتیجه‌ی آن در شبیه‌سازی انجام‌شده برابر ۸.۸ دقیقه است. بسته به نظر مدیر این مقدار می‌تواند زیاده‌تر از حالت انتظار باشد. این مقدار انتظار شخصی ما را از یک مرکز تماس فروشگاه اینترنتی برآورده کرده و مطلوب به نظر می‌رسد. یکی از علل این امر می‌تواند متخصص بودن برخی از کارشناسانی باشد که کاربران ویژه از آن‌ها خدمت می‌گیرند. می‌دانیم که کاربران ویژه از دو کارشناس متخصص و دو کارشناس فنی (در صورت نیاز) خدمت می‌گیرند. اگر طبق نظر مدیریت نیاز به کاهش این معیار عملکرد داشتیم، روش‌های گوناگونی نظیر افزایش تعداد کارشناسان مربوط به کاربران ویژه، استفاده از تیم منابع انسانی برای آموزش‌دهی بیشتر کارشناسان فنی و حتی متخصص و بهبود کل سیستم مرکز تماس می‌توانند کاربردی باشند.

### ۲-۳-۲ درصد کاربران ویژه که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند

معیار دوم مدنظر مدیریت مجموعه، درصد کاربران ویژه با زمان انتظار صفر هستند که نتیجه‌ی شبیه‌سازی مقدار ۴۳.۱۳ درصد را نشان می‌دهد. این مسئله که حدود ۴۳ درصد از کاربران ویژه هیچ‌گاه جلوی خود صفی نمی‌بینند و به محض تماس، خدمت خود را دریافت می‌کنند، بسیار برای این مرکز تماس مطلوب است؛ هرچند با به‌کارگیری پیشنهاد‌های ارائه‌شده در قسمت ۲-۳-۱ احتمالاً زمان خدمت‌دهی به این کاربران کاهش یافته و سرعت خروج افراد از صف بیش‌تر می‌شود. این موضوع موجب شده که تعداد کاربر ویژه‌ی کم‌تری در مقابل خود صف مشاهده کنند.

### ۲-۳-۳ بیشینه طول صف کاربران

در نتایج این پروژه، طبق جدول مذکور این معیار برای هر دو نوع کاربران و هر سه نوع صف عادی و تماس مجدد و فنی محاسبه شده است. به این ترتیب بیش‌ترین طول صف برای کاربران عادی در صف تماس مجدد است که مقدار ۳۶۳.۷۳ نفر را داراست. هرچند این مقدار بسیار بزرگ است اما از آنجایی که کاربران زیادی هستند که نسبت به کاربران عادی در صف تماس مجدد اولویت دارند و خدمت‌دهی به آن‌ها در شیفت اول انجام نشده و تنها در دو شیفت بعدی خدمت می‌گیرند، این مقدار منطقی است. به همین دلیل دومی که ذکر شد نیز بیشینه طول صف برای کاربران ویژه در صف تماس مجدد ۳۱.۰۶ نفر است که بیش‌ترین طول صف در میان صف‌های کاربران ویژه است. سایر مقادیر را نیز می‌توان در جدول فوق مشاهده کرد که همگی منطقی به نظر می‌رسند. روش‌های پیشنهادی قسمت‌های قبل در این بخش نیز قابل استفاده هستند.

### ۲-۳-۴ میانگین طول صف کاربران

این معیار تقریباً متناظر با قسمت قبل افزایش یا کاهش می‌یابد. میانگین طول صف کاربران عادی در صف عادی ۱.۰۸ نفر، برای کاربران ویژه در صف عادی ۰.۲۷ نفر است که با توجه به متخصص بودن کارشناسان مربوط به کاربران ویژه و کم‌تر بودن زمان خدمت‌دهی به آن‌ها، این تفاوت میان این دو مقدار منطقی است. میانگین طول صف کاربران عادی در صف تماس مجدد برابر ۱۶.۱۵ و همین مقدار برای کاربران ویژه برابر ۰.۴۶ است. میانگین طول صف کاربران عادی در صف فنی برابر ۰.۶۲ و همین مقدار برای کاربران ویژه برابر ۰.۰۸ است. جز در حالت صف کاربران عادی در تماس مجدد، باقی صف‌ها دارای مقدار کم‌تر از یک نفر هستند که این میزان عملکرد خوبی از سیستم را نشان می‌دهد. روش‌های پیشنهادی قسمت‌های قبل در این بخش نیز قابل استفاده هستند.

### ۲-۳-۵ بیشینه مدت‌زمان انتظار کاربران در صف‌ها

بیشینه مدت‌زمان انتظار کاربران در صف‌ها برای کاربر عادی در صف عادی حدود ۸۰ دقیقه، برای کاربر ویژه در این صف حدود ۲۰ دقیقه، برای این کاربران در صف تماس مجدد به ترتیب ۱۹۰۴ و ۷۵۶ دقیقه (معادل ۳۱ و ۱۲ ساعت) و در صف تیم فنی به ترتیب ۱۳۳ دقیقه و ۴۰ دقیقه است. (تعداد افراد کم‌تری نیاز به استفاده از تیم فنی می‌کنند) مقادیر مربوط به صف تماس مجدد طبق توضیحات قبلی و بحث شیفت یک توجیه می‌شوند. روش‌های پیشنهادی قسمت‌های قبل در این بخش نیز قابل استفاده هستند.

### ۲-۳-۶ میانگین مدت زمان انتظار کاربران در صف‌ها

این معیار تقریباً متناظر با قسمت قبل افزایش یا کاهش می‌یابد. میانگین مدت زمان انتظار کاربران در صف‌ها برای کاربر عادی در صف عادی حدود ۲.۶۳ نفر، برای کاربر ویژه در این صف حدود ۱.۴۶ نفر، برای این کاربران در صف تماس مجدد به ترتیب ۵۶۰.۸ نفر و ۳۳۸.۵۲ نفر و در صف تیم فنی به ترتیب ۹.۳۴ نفر و ۲.۳۱ نفر است. (تعداد افراد کم‌تری نیاز به استفاده از تیم فنی می‌کنند). مقادیر مربوط به صف تماس مجدد طبق توضیحات قبلی و بحث شیفت یک توجیه می‌شوند. در سایر صف‌ها طبق توضیحات ارائه شده منطقی‌اً کاربران ویژه کم‌تر انتظار می‌کشند. روش‌های پیشنهادی قسمت‌های قبل در این بخش نیز قابل استفاده هستند.

### ۲-۳-۷ میانگین بهره‌وری کارشناسان

این معیار برای سه نوع کارشناس متخصص، تازه‌کار و فنی به ترتیب حدوداً برابر ۵۰ درصد، ۶۸ درصد و ۴۷ درصد است. گرچه استفاده از واژه بهره‌وری خیلی به نظر درست نمی‌باشد؛ چرا که واژه‌ای مطلوب است. در حالی که در این پروژه تنها مربوط به زمان مشغول بودن کارشناسان است و فرض بر آن گرفته شده که اگر کاربرانی در صف باشند، کارشناسان زمانی را تلف نکرده و بدون اتلاف خدمت‌دهی می‌کنند و زمانی برای استراحت نیز ندارند. درصدهای به دست آمده برای این سه نوع کارشناس با توجه به نوعشان منطقی به نظر می‌رسد.

### ۲-۳-۸ شیفت با بیش‌ترین تعداد ترک‌کننده‌ی صف

طبق نتایج به دست آمده شیفت دوم دارای بیش‌ترین تعداد ترک‌کننده‌ی صف است؛ به این معنا که کاربران پس از مدتی که در صف خود قرار می‌گیرند، در صورتی که صف جلوی آن‌ها از حدی بیش‌تر باشد، احتمال دارد که صف را ترک کنند. این مقدار برای شیفت دو با توجه به زیاد بودن میانگین زمان انتظار در آن منطقی است. برای بهبود وضعیت این معیار می‌بایست تعداد کارشناسان بیشتری را، استثنائاً برای این شیفت اتخاذ کرد.

### ۲-۳-۹ میانگین مدت زمان انتظار ترک‌کنندگان صف‌ها

یکی دیگر از معیارهای دلخواه ما، میانگین مدت زمانی است که کاربران حاضرند در صف انتظار بکشند تا قبل آن که خسته شده و آن را ترک کنند. از آنجایی که امر ترک کردن صف برای مرکز تماس امری نامطلوب است و نیاز به کاهش آن دارد، به نظر رسید که با توجه به آن که میانگین مدت زمان انتظار برای انواع کاربران و صف‌های

مختلف آن‌ها محاسبه شده است، می‌توان با داشتن میانگین مدت‌زمان انتظار ترک‌کنندگان صف‌ها، با اتخاذ تصمیمات تأثیرگذار و انجام اقدامات مهم، این معیار را تا حد امکان کاهش داد. روش‌های پیشنهادی قسمت‌های قبل در این بخش نیز قابل استفاده هستند.

## ۲-۴ برآورد فاصله‌ای خروجی‌های سیستم

برآورد فاصله‌ای برخی از خروجی‌های سیستم شبیه‌سازی‌شده با خطای  $\alpha = 0.05$  روی ۵ تکرار به شرح زیر است. اکسل مربوطه برای محاسبه‌ی این فواصل پیوست شده‌است.

معیارهای مد نظر مدیریت	برآورد نقطه‌ای	انحراف استاندارد	تعداد نمونه	حد پایین فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	حد بالای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪
میانگین مدت زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم (دقیقه)	۸.۸	۰.۱۳۹۴	۵	۸.۴۰۵۰	۸.۷۵۱۰
درصد کاربران ویژه که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند	۴۳.۱۳	۰.۱۰۸۵	۵	۴۲.۹۰۳۳	۴۳.۱۷۲۷
بیشینه طول صف کاربران عادی در صف عادی	۵۱.۴۵	۱.۵۷۸۶	۵	۵۰.۶۴۱۹	۵۴.۵۶۳۱
میانگین بهره‌وری کارشناسان متخصص	۵۰.۳۱	۰.۰۶۶۶	۵	۵۰.۲۸۱۴	۵۰.۴۴۶۶
میانگین بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار	۶۸.۰۹	۰.۰۳۸۱	۵	۶۸.۰۳۲۷	۶۸.۱۲۷۳

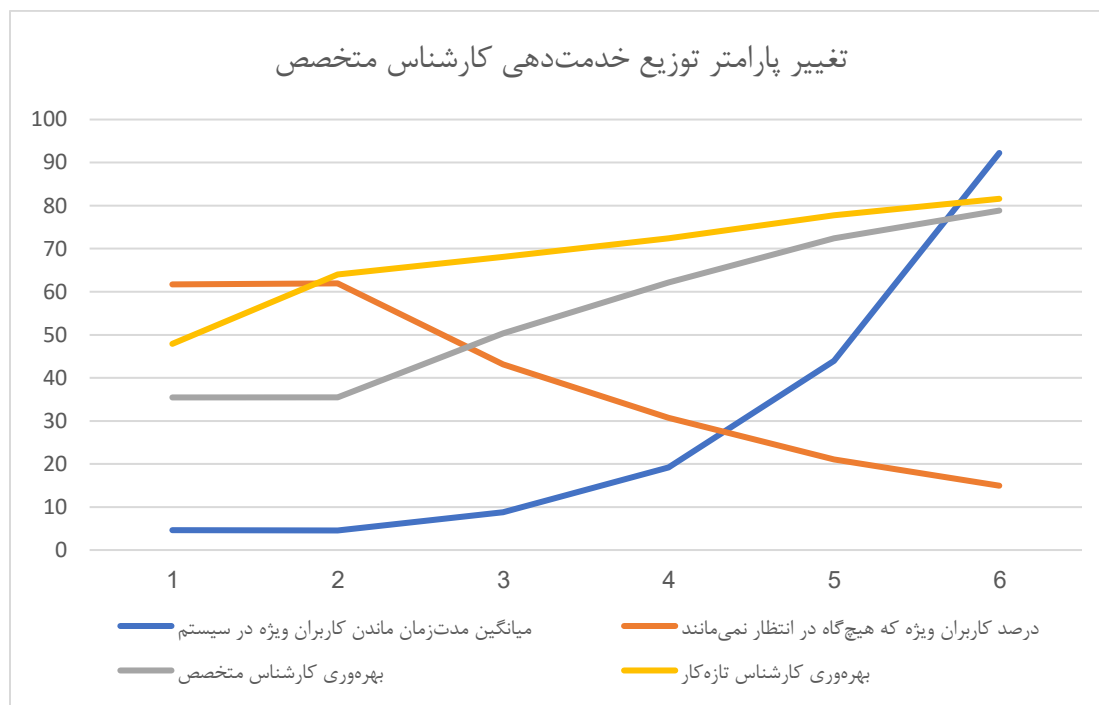
جدول 10 - برآورد فاصله‌ای خروجی‌های سیستم

## ۲-۵ تحلیل حساسیت خروجی‌های سیستم

تحلیل حساسیت به‌منظور بررسی تأثیر تغییر مقادیر برخی از ورودی‌های مدل‌سازی سیستم مرکز تماس فروشگاه اینترنتی بر خروجی‌های این سیستم انجام می‌شود. در هر مرحله از تحلیل حساسیت، تمامی شرایط ثابت است و تنها مقدار یکی از پارامترهای ورودی سیستم تغییر می‌کند. این بخش با تغییر پارامترهای تعداد کارشناسان و پارامترهای توزیع خدمت‌دهی کارشناسان و تأثیر آن‌ها بر روی بهره‌وری کارشناسان و دو معیار عملکرد اول مدنظر مدیریت مجموعه محاسبه و تحلیل شده‌است.

## ۲-۵-۱ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس متخصص

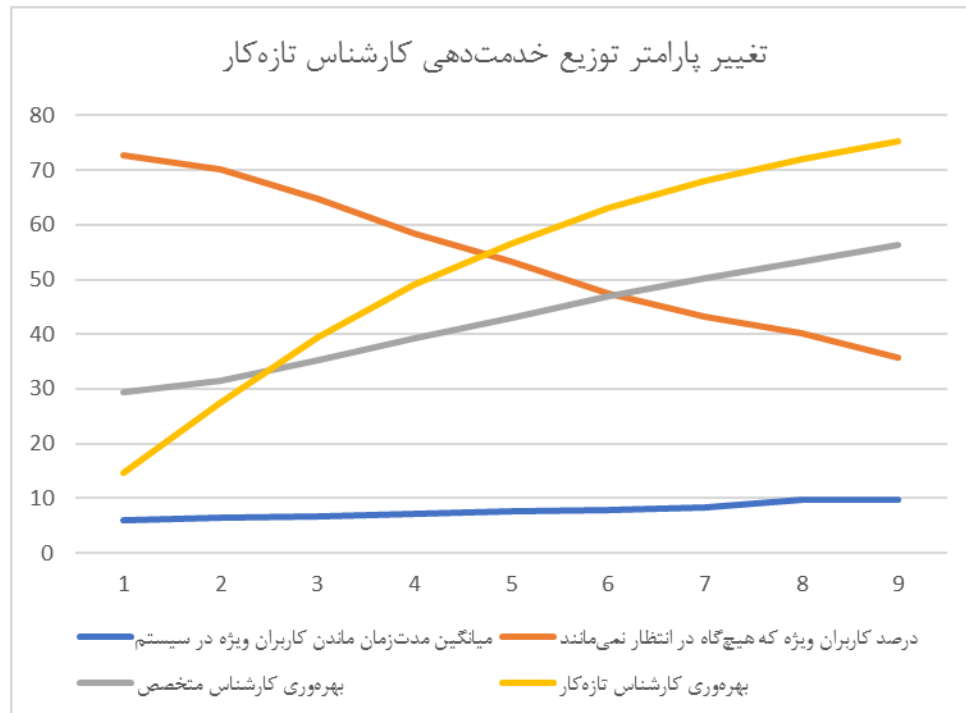
این پارامتر دارای توزیع نمایی با پارامتر سه دقیقه است. این مقدار را از یک دقیقه الی شش دقیقه با پنج تکرار تغییر داده‌ایم. مشاهده می‌شود که با افزایش زمان خدمت‌دهی این کارشناسان، میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم به‌طور اکیداً صعودی افزایش پیدا می‌کند که کاملاً منطقی است. از آنجایی که مدت‌زمان بیشتری این کارشناسان مشغول می‌شوند، بهره‌وری آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. چون با افزایش زمان خدمت‌دهی متخصصان، این افراد کمتر از قبل فرصت می‌کنند تا به کاربران عادی خدمت دهند، این کاربران در صف مانده و در نهایت از کارشناسان تازه‌کار خدمت می‌گیرند که موجب افزایش بهره‌وری آنان نیز می‌شود. در نهایت تعداد کمتری کاربر ویژه وجود دارد که هیچ‌گاه در صف کارشناسان متخصص نماند.



نمودار 7- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس متخصص

## ۲-۵-۲ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس تازه‌کار

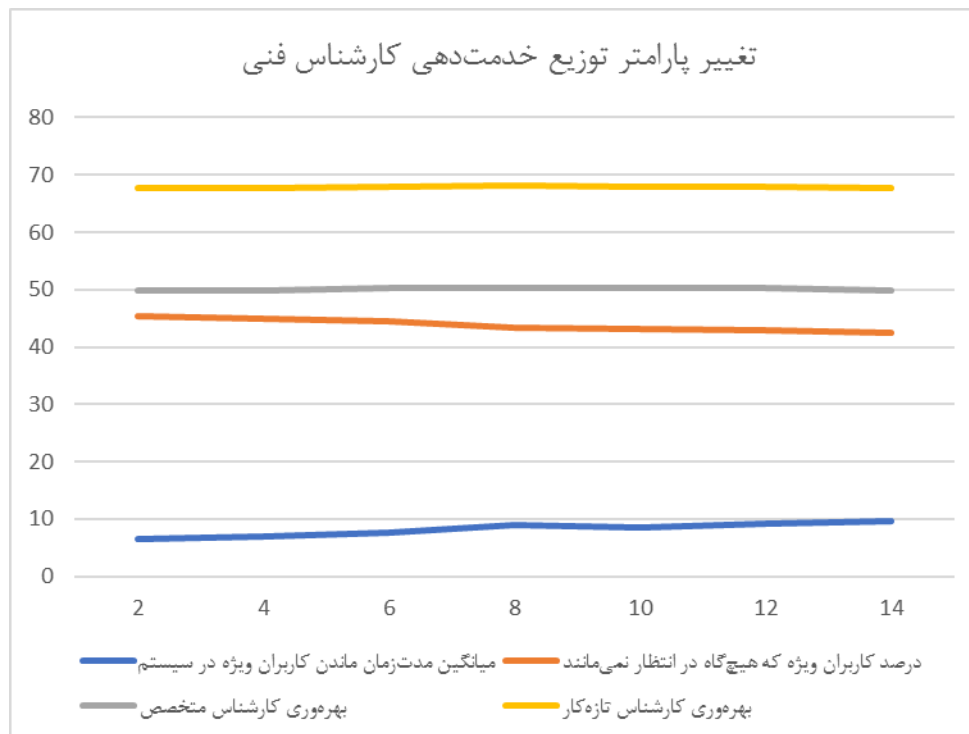
این نمودار را نیز می‌توان همانند نمودار قبلی توجیه کرد که تأثیر بهره‌وری کارشناسان بر روی یک‌دیگر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنیم که میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم تغییر خاصی نمی‌کند؛ چرا که توزیع‌های خدمت‌دهی تازه‌کاران روی کاربران عادی تأثیرگذار است نه کاربران ویژه.



نمودار 8- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس تازه‌کار

### ۲-۵-۳ تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس فنی

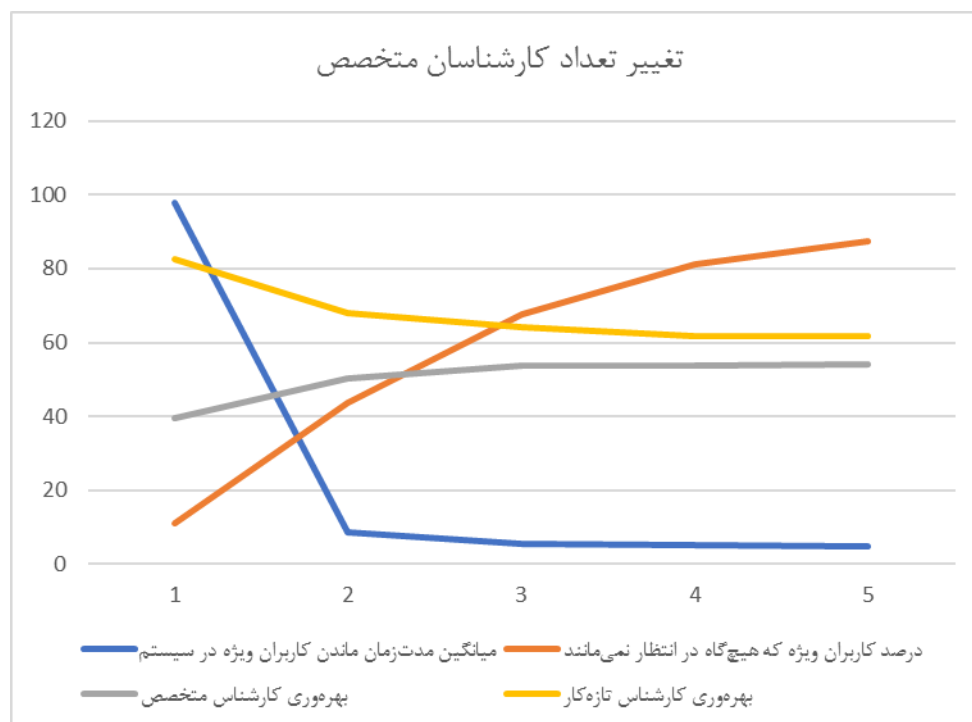
همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییر این پارامتر تأثیر چشم‌گیری بر روی معیارهای عملکردی انتخابی ما نمی‌گذارد. هرچند توجه داریم که با افزایش زمان خدمت‌دهی کارشناسان فنی، میانگین مدت‌زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم افزایش پیدا می‌کند؛ چرا که این کاربران از کارشناسان فنی نیز بعضاً خدمت می‌گیرند.



نمودار 9- تغییر پارامتر توزیع خدمت‌دهی کارشناس فنی

## ۲-۵-۴ تغییر تعداد کارشناسان متخصص

همانطور که انتظار داشتیم با افزایش تعداد کارشناسان متخصص تمامی معیارهای مربوط به کارشناسان متخصص و کاربران ویژه تحت تاثیر قرار می‌گیرند و به نوعی حتی بهبود می‌یابند. اما مدیریت باید در نظر بگیرد که آیا افزایش تعداد این کارشناسان با توجه به هزینه‌های مربوطه‌اش صرفه‌ی اقتصادی دارد یا خیر. تحلیل حساسیت این بخش نشان می‌دهد که مدت‌زمان مشغول بودن کارشناسان تازه‌کار کاهش می‌یابد؛ این موضوع منطقی است؛ چرا که هرگاه کارشناسان تازه‌کار مشغول باشند، این کاربران می‌توانند از کارشناسان متخصص که تعداد بیش‌تری شده‌اند، خدمت بگیرند.

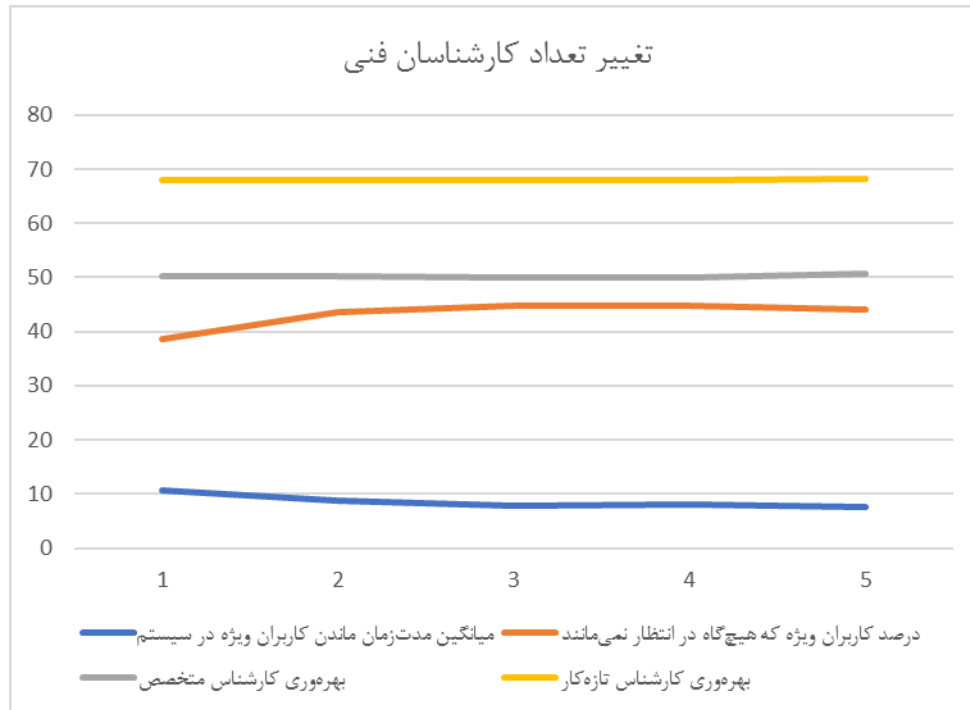


نمودار 10- تغییر تعداد کارشناسان متخصص



## ۲-۵-۵ تغییر تعداد کارشناسان فنی

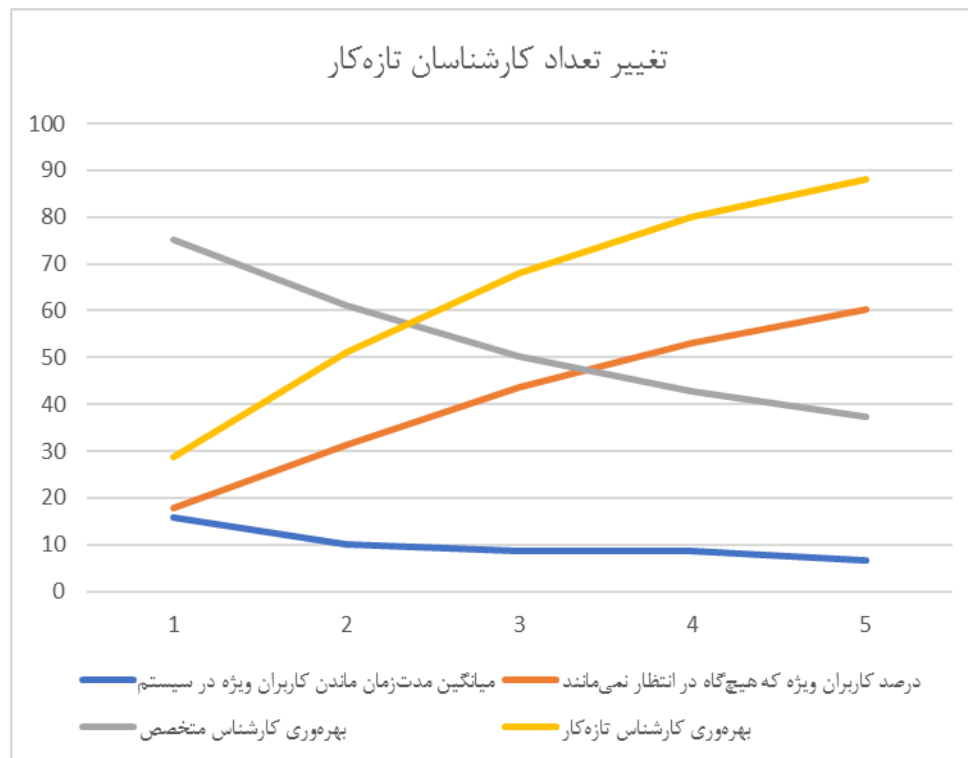
تحلیل این بخش نیز مانند بخش ۲-۵-۳ است و نشان می‌دهد بهبود وضعیت در تعداد کارشناسان فنی تأثیر چشم‌گیری در معیارها نخواهد داشت.



نمودار 11- تغییر تعداد کارشناسان فنی

## ۲-۵-۶ تغییر تعداد کارشناسان تازه‌کار

با افزایش تعداد کارشناسان تازه‌کار تعداد کاربران عادی‌ای که از کارشناسان متخصص خدمت می‌گیرند، کاهش می‌یابد که این امر موجب می‌شود مشغول‌بودن کارشناسان متخصص و کاهش یافته و درصد کاربران ویژه با مدت انتظار صفر افزایش یابد. بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار نیز افزایش می‌یابد.



نمودار 12- تغییر تعداد کارشناسان تازه‌کار

## فصل ۳: فاز سوم پروژه

### ۳-۱ توصیف سیستم جدید

پس از گذشت مدتی از کار شرکت، کارشناسان واحد بازاریابی موفق می‌شوند درصد مشتریان ویژه را به عدد ۴۰ برسانند. همچنین این واحد پس از مطالعه‌ی بازار و نگاه دقیق‌تر به سیستم به این نتیجه می‌رسد که فراهم آوردن امکان تماس مجدد، مزیت رقابتی قابل توجهی برای شرکت ایجاد نمی‌کند؛ بنابراین با توصیه‌ی این واحد، تماس مجدد از مجموعه خدمات مرکز تماس حذف می‌شود. از منفعت حاصل از این صرفه‌جویی، کارشناسان فنی شرکت موفق می‌شوند اختلالی را که هر ماه در سیستم رخ می‌داد رفع کنند. علاوه بر این، با گسترش و رونق گرفتن کار شرکت، واحد پردازش داده‌ی شرکت متوجه می‌شود که میانگین زمان بین تماس‌ها در هر سه شیفت به ۱/۱ دقیقه رسیده است. سایر پارامترهای سیستم تغییری نکرده‌اند.

یک شرکت فنی و مهندسی، به مدیریت شرکت پیشنهاد می‌دهد که کارشناسان تازه‌کار و خبره‌ی مرکز تماس را برای گذراندن یک دوره‌ی آموزشی نزد آن‌ها بفرستند. این شرکت تضمین می‌کند که پس از برگزاری دوره، میانگین زمان خدمت‌دهی کارشناسان تازه‌کار به ۵/۸ دقیقه و همین مقدار برای کارشناسان خبره به ۲/۷ دقیقه می‌رسد. رئیس از این پیشنهاد استقبال کرده و در نظر دارد تعداد کارشناسان تازه‌کار را نیز به ۲ تغییر دهد. در این فاز با حذف امکان تماس مجدد همچنان فرض شده‌است که افراد می‌توانند از انتظار خسته شده و صف خود را ترک کنند.

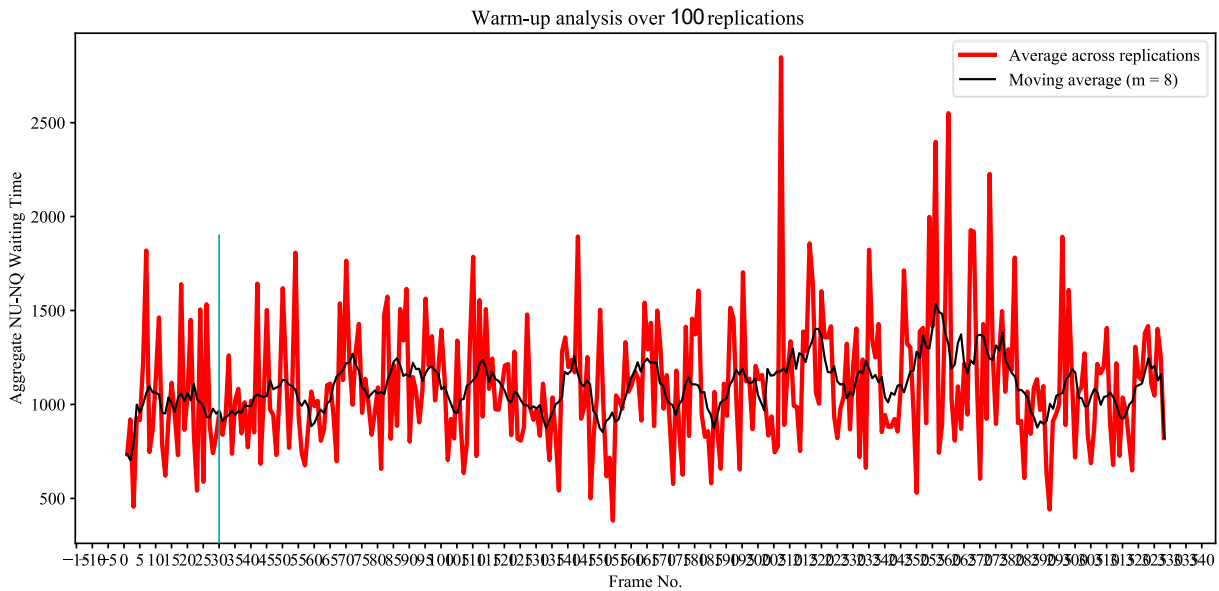
در ادامه به تحلیل حالت سرد و گرم سیستم و مقایسه‌ی دو سیستم موجود می‌پردازیم.

### ۳-۲ تحلیل حالت سرد و گرم

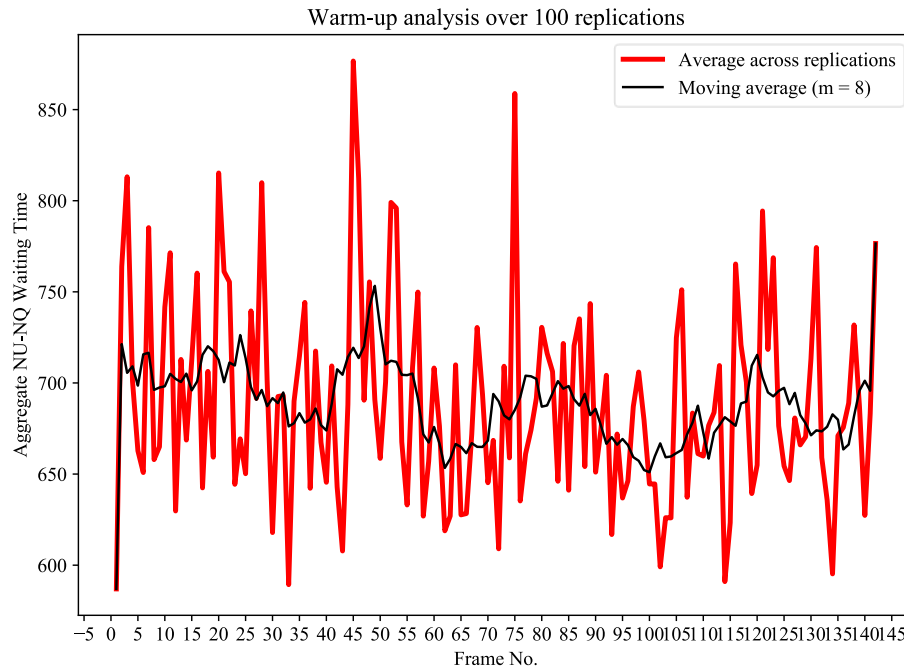
برای بررسی خروجی‌ها و نتایج در حالت پایا و نامنقطع شبیه‌سازی سیستم مرکز تماس، از تحلیل حالت سرد و گرم استفاده می‌کنیم. بدین منظور برنامه‌ی شبیه‌سازی در درازمدت انجام شده و پس از رسم نمودار و مشاهده‌ی روند آن، بخشی از داده‌های ابتدای نمودار که به آن حالت سرد گفته می‌شود، در نظر گرفته نشده و آنچه باقی می‌ماند (که به اصطلاح در حالت گرم نمودار قرار دارد) مورد بررسی قرار می‌گیرد تا رفتار حالت پایا را تخمین بزند.

برای تحلیل حالت سرد و گرم سیستم به روش قاب‌های زمانی، لازم است یک معیار (خروجی سیستم) را به عنوان محور عمودی نمودار خود، در نظر بگیریم. با توجه به این که میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف اول،

مورد توجه پروژه است، این معیار را برمی‌گزینیم. در روش قاب‌های زمانی، لازم است تعداد روزهای شبیه‌سازی و مدت‌زمان هر قاب زمانی را تعیین کنیم. ما در این جا از طریق دو ترکیب مختلف از این دو پارامتر، دو نمودار متفاوت به دست می‌آوریم: اولی، شبیه‌سازی را در ۱۱۰ روز و قاب‌های ۴۸۰ ساعته انجام می‌دهد؛ دومی نیز شبیه‌سازی را در ۳۰ روز و قاب‌های ۳۰۰ دقیقه‌ای صورت می‌دهد. با توجه به آنچه از ظاهر نمودارها می‌توانیم ببینیم، به نظر می‌رسد در هر دو نمودار، قاب ۳۰ ام، زمانی باشد که سیستم گرم می‌شود؛ اما از آن جا که در نمودار اول، مدت‌زمان هر قاب، بیشتر است، سراغ نمودار اول می‌رویم و می‌دانیم باید شبیه‌سازی را تا ۱۱ برابر زمان گرم‌شدن سیستم، ادامه دهیم؛ پس شبیه‌سازی باید تا ۳۳۰ قاب زمانی (معادل با ۱۱۰ روز)، انجام گیرد و سپس با حذف داده‌های ۳۰ قاب زمانی اول، میانگین مدت‌زمان انتظار کاربران عادی در صف اول، محاسبه گردد. با انجام این کار، متوجه می‌شویم میانگین مدت‌زمان انتظار کاربران عادی در صف اول، در درازمدت، برابر ۴.۱۶ دقیقه است.



نمودار 13- نمودار تحلیل گرم و سرد برای ۱۱۰ روز شبیه‌سازی و قاب‌های ۴۸۰ دقیقه‌ای



نمودار 14- نمودار تحلیل گرم و سرد برای ۳۰ روز شبیه‌سازی و قاب‌های ۳۰۰ دقیقه‌ای

### ۳-۳ مقایسه‌ی سیستم جدید با قبلی

برای آن که دو سیستم موجود مقایسه شده و سیستم بهتر انتخاب شود، از روش نمونه‌گیری اعداد تصادفی مشترک<sup>۱۶</sup> بهره می‌بریم. در این روش به هنگام دوباره‌سازی در شبیه‌سازی هر دو سیستم، از اعداد تصادفی یکسان استفاده می‌شود. به همین علت تعداد تکرارها نیز باید با هم برابر باشند که در این بخش ۱۰ قرار داده شده‌اند. بدین صورت برآوردهایی که طی دوباره‌سازی‌ها به دست می‌آیند، همبستگی مثبت دارند. هدف از استفاده‌ی این روش، کاهش واریانس اختلاف میانگین‌ها و همچنین کاهش طول بازه‌ی اطمینان است.

برای این منظور هر دو سیستم با استفاده از هسته‌ی مشترک و یکسان در برنامه‌ی ساخته شده، شبیه‌سازی می‌شوند و با توجه به مقادیر میانگین و واریانس داده‌های هر سیستم، مقادیر خطای استاندارد و درجه‌ی آزادی نیز محاسبه

<sup>16</sup> CRN, Common Random Number

می‌شوند. با استفاده از نتایج محاسبات<sup>۱۶</sup> می‌توان بازه‌ی اطمینان تفاضل دو میانگین سیستم‌ها را به‌دست آورده و بر اساس علامت و مقدار آن‌ها، سیستم بهتر را برگزید.

قابل ذکر است که مقدار آلفا در این بخش برابر ۰.۰۵ در نظر گرفته شده‌اند.

مقایسه‌ی دو سیستم موجود در تمامی معیارهای ارزیابی ذکرشده مطابق جدول زیر می‌باشد. فرض صفر، برتری سیستم دوم نسبت به سیستم اول قرار داده شده‌است. همانطور که می‌دانیم اگر بازه‌ی اطمینان ۹۵ درصدی ما شامل عدد صفر باشد، نمی‌توان گفت که کدام سیستم بهتر است. باید توجه داشت که نمی‌توان گفت که در این صورت، میانگین‌های این دو سیستم با هم برابرند. اگر بازه سمت راست عدد صفر باشد، سیستم دوم شامل مقدار بیشتری است و برعکس. جداول کامل اکسل به همراه تمامی داده‌های مربوط به این بخش پیوست شده‌اند.

در ابتدا، این دو سیستم پس از حذف بخش سرد داده‌ها، از نظر میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف اول مقایسه شده‌اند. همانطور که در جدول قابل مشاهده است، بازه‌ی اطمینان این معیار در سمت چپ عدد صفر قرار می‌گیرد که کم‌تر بودن مقدار این معیار برای سیستم دوم نسبت به سیستم اول را نشان می‌دهد. از آنجایی که کاهش میانگین زمان انتظار مشتریان برای ما مطلوب است، به نظر می‌رسد سیستم دوم عملکرد بهتری در این زمینه دارد. در نتیجه مدیریت تصمیم درستی من باب کاهش تعداد کارشناسان تازه‌کار به دو کرده‌است.

ردیف	معیارهای مورد نظر	Y سیستم اول	Y سیستم دوم	برآورد نقطه‌ای	حد پایین فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	حد بالای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	جهت مطلوب	سیستم بهتر
۱	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف عادی (دقیقه)	۴۰.۴۹	۴۸.۱۵	-۰.۷۶۶۰	-۰.۹۶۸۹	-۰.۵۶۳۱	کاهش	۲
۲	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف عادی (دقیقه)	۲.۳۹۲	۱.۹۵	۰.۴۴۲۰	۰.۳۴۳۲۹۱	۰.۵۴۰۷۰۹	کاهش	۱

جدول ۱۱- مقایسه‌ی دو سیستم با روش نمونه‌گیری همبسته

در نهایت، بررسی معیارها نشان خواهد داد که در معیار ارزیابی اول سیستم ۲ بهتر از سیستم ۱ بوده و در معیار بعدی برعکس این موضوع صادق است. از آنجایی که به دلیل مدت زمان ران‌های طولانی این روش تنها برای دو معیار انجام پذیرفتند، نمی‌توان نظر قطعی‌ای درباره‌ی بهتر بودن سیستمی نسبت به سیستم دیگر داد؛ هرچند از آنجایی که معیار اصلی مدیریت میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف اول بوده است و در این زمینه

روابط کتاب مرجع<sup>۱۷</sup>

سیستم دوم بهتر بوده، حاکی از بهتر بودن سیستم دوم برای مجموعه باشد. توجه داریم که یکی از عوامل انتخابی ما نیز باید بر اساس ارزیادن<sup>۱۸</sup> انتخاب سیستم باشد.

برای مقایسه‌ی دو سیستم می‌توان از روش نمونه‌گیری مستقل نیز بهره گرفت. در این روش در هر سیستم با استفاده از هسته‌های متفاوت و پس از حذف داده‌های سرد، نتایج را دریافت کرده و طبق جدول زیر برای هر معیار مقایسه می‌کنیم.

ردیف	معیارهای مورد نظر	Y سیستم اول	Y سیستم دوم	برآورد نقطه‌ای	حد پایین فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	حد بالای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	جهت مطلوب	سیستم بهتر
۱	میانگین مدت زمان ماندن کاربران ویژه در سیستم (دقیقه)	۷.۴۹۳۳۳	۶.۷۴۵	-۰.۷۴۸۳	-۰.۸۳۱۳۵	-۰.۶۶۵۳۱	کاهش	۲
۲	درصد کاربران ویژه که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند	۲۴.۶۶۵	۲۴.۲۸۶۶۷	-۰.۳۷۸۳	-۰.۹۴۵۲۷	۰.۱۸۸۶۰۴	افزایش	-
۳	بیشینه طول صف کاربران عادی در صف عادی	۳۲.۸۲۳۳۳	۳۴.۱۶۳۳۳	۱.۳۴۰۰	-۰.۳۲۹۶	۳.۰۰۹۶۰۲	کاهش	-
۴	بیشینه طول صف کاربران ویژه در صف عادی	۱۴.۲۷۳۳۳	۱۳.۰۸	-۱.۱۹۳۳	-۱.۷۰۶۲۹	-۰.۶۸۰۳۸	کاهش	۲
۵	بیشینه طول صف کاربران عادی در صف فنی	۱۸.۱۹	۱۶.۲۰۸۳۳	-۱.۹۸۱۷	-۴.۴۴۷۸	۰.۴۸۴۴۷۱	کاهش	-
۶	بیشینه طول صف کاربران ویژه در صف فنی	۵.۹۹۱۶۶۷	۶.۸۰۳۳۳۳	۰.۸۱۱۷	۰.۱۷۵۹۴۹	۱.۴۴۷۳۸۵	کاهش	۱
۷	میانگین طول صف کاربران عادی در صف عادی	۲.۳۵۵	۲۵.۸۶۶۶۷	۰.۲۳۱۷	۰.۱۲۵۶۵۶	۰.۳۳۷۶۷۷	کاهش	۱
۸	میانگین طول صف کاربران ویژه در صف عادی	۰.۹	۰.۷۱۱۶۶۷	-۰.۱۸۸۳	-۰.۱۹۷۴۱	-۰.۱۷۹۲۵	کاهش	۲
۹	میانگین طول صف کاربران عادی در صف فنی	۱۰.۴۳۳۳۳	۰.۹۲۳۳۳۳	-۰.۱۲۰۰	-۰.۱۹۷۴۶	-۰.۰۴۲۵۴	کاهش	۲
۱۰	میانگین طول صف کاربران ویژه در صف فنی	۰.۱۹۸۳۳۳	۰.۲۰۳۳۳۳	۰.۰۰۵۰	۰.۰۰۷۷۷	۰.۰۱۷۷۶۷	کاهش	-
۱۱	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف عادی (دقیقه)	۵۲.۷۷۳۳۳	۵۷.۴۶۳۳۳	۴.۶۹۰۰	۰.۶۹۳۹۱۴	۸.۶۸۶۰۸۶	کاهش	۱
۱۲	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف عادی (دقیقه)	۲۷.۳۶۶۶۷	۲۳.۴۵	-۳.۹۱۶۷	-۵.۳۹۷۶۱	-۲.۴۳۵۷۳	کاهش	۲
۱۳	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف فنی (دقیقه)	۱۷۰.۷۷۳۳	۱۷۸.۹۷۳۳	۸.۲۰۰۰	-۱۶.۷۱۸۶	۳۳.۱۱۸۶	کاهش	-
۱۴	بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف فنی (دقیقه)	۴۵.۴۲۵	۵۳.۹۱۳۳۳	۸.۴۸۸۳	۴.۱۳۵۵۸	۱۲.۸۳۸۱۱	کاهش	۱
۱۵	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف عادی (دقیقه)	۴.۳۰۱۶۶۷	۴.۷۶	۰.۴۵۸۳	۰.۲۷۹۸۸۴	۰.۶۳۶۷۸۳	کاهش	۱
۱۶	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف عادی (دقیقه)	۲.۴۷۸۳۳۳	۱.۹۷۳۳۳۳	-۰.۵۰۵۰	-۰.۵۲۸۴۲	-۰.۴۸۱۵۸	کاهش	۲
۱۷	میانگین مدت زمان انتظار کاربران عادی در صف فنی (دقیقه)	۱۲.۶۴۵	۱۱.۳۸۳۳۳	-۱.۲۶۱۷	-۲.۲۴۰۶۸	-۰.۲۸۲۶۵	کاهش	۲
۱۸	میانگین مدت زمان انتظار کاربران ویژه در صف فنی (دقیقه)	۳.۶۹۱۶۶۷	۳.۷۸۵	۰.۰۹۳۳	۰.۰۵۳۴۷	۰.۲۴۰۱۳۹	کاهش	-
۱۹	میانگین بهره‌وری کارشناسان متخصص	۸۱.۵۹۶۶۷	۸۱.۵۹۳۳۳	-۰.۰۰۳۳	-۰.۳۸۳۳۲	۰.۳۷۶۶۵۲	افزایش	-
۲۰	میانگین بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار	۱۲۷.۵۳۵	۸۵.۹۸۵	-۴۱.۵۵۰۰	-۴۱.۸۰۷۹	-۴۱.۲۹۲۱	افزایش	۲
۲۱	میانگین بهره‌وری کارشناسان تیم فنی	۶۷.۶۰۶۶۷	۶۷.۶۰۸۳۳	۰.۰۰۱۷	-۰.۷۵۱۰۹	۰.۷۵۴۴۲۲	افزایش	-
۲۲	میانگین مدت زمان انتظار ترک‌کنندگان صف‌ها (دقیقه)	۲۵.۱۴۵	۲۵.۱۵۸۳۳	۰.۰۱۳۳	-۰.۰۵۳۰۵	۰.۰۷۹۷۱۶	کاهش	-

جدول 12- مقایسه‌ی دو سیستم با روش نمونه‌گیری مستقل

مشاهده می‌شود که در معیار مد نظر که در ردیف پانزدهم قرار دارد، سیستم یک بهتر عمل می‌کند. در کل در هشت معیار سیستم دو بهتر بوده و در پنج معیار سیستم یک بهتر بوده و درباره‌ی سایر معیارها نمی‌توان نظر

<sup>18</sup> Practical Significant

قطعی‌ای داد. با بیشتر بودن تعداد معیارهای بهتر در سیستم دو، شاید سیستم دو نتیجه‌ی بهتری بدهد، هرچند معیار اصلی مدیریت در سیستم یک بهتر عمل کرده است.

### ۳-۴ سیاست‌های پیشنهادی در راستای بهبود

پیشنهاد‌های زیادی را می‌توان مطرح کرد اما می‌بایست هر سیاست پیشنهادی به طور دقیق بررسی شود و خروجی‌های شبیه‌سازی آن با سیستم قبلی مقایسه گردد. در نتیجه سیستم بهتر برای ادامه دادن انتخاب می‌شود. یکی از پیشنهاد‌های قابل بررسی می‌تواند افزایش تعداد کارشناسان متخصص باشد. نتیجه‌ی این امر می‌تواند کاهش میانگین و بیشینه مدت زمان انتظار کاربران ویژه و افزایش درصد کاربران ویژه‌ای که هرگز در صف منتظر نمی‌مانند، باشد. هر چند نیاز به بررسی دقیق‌تر و در نظر گرفتن صرفه‌ی اقتصادی نیز باشد.

اگر دوره‌های آموزشی مجموعه‌ی ذکرشده تأثیر به‌سزایی داشت، می‌توان تعدادی از کارشناسان تازه‌کار را به دوره‌های آموزشی بیشتری فرستاد تا به سطح کارشناسان متخصص ارتقا پیدا کنند. این‌گونه کاربران عادی نیز زمان کمتری در سیستم می‌مانند. یا حتی با تجربه‌ی این موضوع تمایل به خرید اشتراک ویژه می‌کنند که می‌تواند برای مرکز تماس سودآور باشد.

استفاده از دستگاه‌های خودکار با اعلام مدت زمان انتظار باقی‌مانده و تعداد افراد در صف جلوی مشتریان و همچنین پخش صوتی سرگرم‌کننده در زمان انتظار آن‌ها، می‌تواند کمک شایانی به نشان دادن احترام مرکز تماس برای زمان مشتریان خود باشد.

بسته به نوع مرکز تماس می‌توان انواع کارشناسان را نیز مستقل از تعدادشان بیشتر کرد. برای مثال گروه کارشناسان تازه‌کار خود به انواع مختلفی بسته به نیاز مشتریان تقسیم شوند. این‌گونه مشتریان به کارشناسی که در مورد آن مشکل یا مسئله تجربه‌ی بیشتری دارد، ارجاع داده می‌شود.



## منابع

Banks Carson, N. N. (2014). Discrete-Event System Simulation (5 ed.). Edingburgh Gate  
Pearson.

**Abstract**

Simulation is an approximate of an operation, process, or system and represents its performance measuring and predicting ,over time. Simulation techniques are used in the process of analyzing changes and their effects on cost, quality and time. With the approach of discrete-event systems simulating, this project intends to simulate a center call that serves in three eight-hour shifts a day with three types of employees and two types of customers.

**Keywords:** Simulation, Discrete-Event Systems, Employee, Customer, CenterCall



**Sharif University of Technology**  
**Industrial Engineering Department**

# **A Call-Center Simulation Project**

**By:**

**Hamed Hatami**

**Mobina Hassanzadeh Azar**

**Professor:**

**Dr. Nafiseh Sedghi**

**February 2022 – August 2022**