



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده‌ی مهندسی صنایع

## پروژه‌ی شبیه‌سازی مرکز تماس یک فروشگاه اینترنتی

نگارندگان  
سجاد عابد ۹۷۱۰۴۵۱۵

استاد:  
دکتر صدقی

بهار ۱۴۰۱



۱.	نهادها.....	۱
۲.	متغیرهای حالت.....	۱
۳.	تاخیرها.....	۲
۴.	لیست‌ها.....	۲
۵.	فعالیت‌ها.....	۳
	۵.۱. توضیحات متغیرهای تصادفی سیستم.....	۳
۶.	پیشامدها.....	۴
۷.	فرضیات طراحی سیستم.....	۴
۸.	چهار معیار برای ارزیابی عملکرد سیستم.....	۵
	۸.۱. دلایل اهمیت معیارهای ذکر شده.....	۶
۹.	تعریف پویای سیستم.....	۷
۱۰.	اعلان پیشامدها.....	۱۶
۱۱.	لیست پیشامدهای آتی در لحظه‌ی شروع شبیه سازی.....	۱۷
۱۲.	تعیین توزیع‌های $D1$ ، $D2$ و $D3$ و برآورد پارامترها.....	۱۸
	۱۲.۱. رویکرد مورد استفاده.....	۱۸
	۱۲.۲. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D1$ .....	۱۸
	۱۲.۳. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D2$ .....	۱۹
	۱۲.۴. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D3$ .....	۲۰
	۱۲.۵. فیت کردن توزیع‌ها، برآورد پارامتر و آزمون برازندگی.....	۲۱
۱۳.	خروجی‌ها.....	۲۴
۱۴.	تحلیل خروجی.....	۲۵
۱۵.	برآورد فاصله اطمینان برای ۳ خروجی.....	۲۷

۱۶.	تحلیل حساسیت.....	۲۸
۱۷.	آماره‌های تجمعی و فرمول معیارهای مدیریتی.....	۳۱
۱۸.	فایل output.xlsx.....	۳۵
۱۹.	توضیحات کد فاز دوم.....	۳۶
۲۰.	تغییرات سیستم در فاز سوم.....	۳۷
۲۱.	تعریف پویای سیستم جدید (فاز سوم).....	۳۸
۲۲.	تحلیل سرد و گرم سیستم.....	۴۳
۲۳.	مقایسه‌ی مدت زمان انتظار در صف عادی سیستم یک و دو.....	۴۴
۲۴.	ارزیابی برخی معیارهای سیستم یک و دو.....	۴۵
۲۵.	سه پیشنهاد برای بهبود سیستم مرکز تماس.....	۴۷

## ۱. نهادها

ابتدا برای تعریف سیستم نهادهای این سیستم را تعریف می‌کنیم:

- مشتری  $i$  (هر مشتری یک ویژگی ویژه یا عادی ( $A_1$ )، یک ویژگی تمایل یا عدم تمایل به تماس مجدد ( $A_2$ ), یک ویژگی عجله یا صبور بودن ( $A_3$ ) و یک ویژگی نیاز به بررسی فنی ( $A_4$ ) دارد)  $C_i \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots$
- برای اینکه بتوانیم سیستم را شبیه سازی کنیم و به سوالات سیستم پاسخ دهیم و با توجه به اینکه هر مشتری ویژگی‌های مختص به خود را دارد، نیاز داریم مشتری به صورت نهاد جداگانه تعریف شود. در مورد متصدی‌ها با توجه به اینکه صف‌های مشتریان مختلف به صورت جداگانه تعریف شده است و متصدیان و کارشناسان با هم نوع خودت تفاوتی ندارند نیازی به تعریف آن‌ها به شکل یک نهاد جداگانه نیست.

## ۲. متغیرهای حالت

برای تعریف وضعیت سیستم از متغیرهای زیر استفاده می‌کنیم:

- شیفت کاری (Sh) مقدار آن برابر با ۱، ۲ و یا ۳ است.
- تعداد متصدی تازه کار مشغول (BB) که مقداری بین ۰ تا ۳ دارد.
- تعداد متصدی متخصص مشغول (BE) که مقداری بین ۰ تا ۲ دارد.
- تعداد کارشناس فنی مشغول (BT) که مقداری بین ۰ تا ۲ دارد.
- طول صف مشتریان ویژه (QL1)
- طول صف مشتریان عادی (QL2)
- طول صف مشتریان ویژه تماس مجدد (QL3)
- طول صف مشتریان عادی تماس مجدد (QL4)
- طول صف مشتریان ویژه کارشناس فنی (QL5)
- طول صف مشتریان عادی کارشناس فنی (QL6)
- مشکل داشتن شبکه (NE) که مقدار ۰ یا ۱ دارد.

### ۳. تاخیرها

تاخیرهای سیستم با توجه به تعاریفی که ارائه شد و در ادامه نیز اشاره می‌شود عبارت خواهند بود از:

- زمان انتظار مشتریان در صف مشتریان ویژه
- زمان انتظار مشتریان در صف مشتریان عادی
- زمان انتظار مشتریان در صف مشتریان ویژه تماس مجدد
- زمان انتظار مشتریان در صف مشتریان عادی تماس مجدد
- زمان انتظار مشتریان ویژه در صف مشتریان کارشناس فنی
- زمان انتظار مشتریان عادی در صف مشتریان کارشناس فنی

### ۴. لیست‌ها

لیست‌ها (صف‌های) این سیستم عبارت اند از:

- لیست مشتریان ویژه در صف انتظار  $ls_{q1}$
- لیست مشتریان عادی در صف انتظار  $ls_{q2}$
- لیست مشتریان ویژه در صف تماس مجدد  $ls_{q3}$
- لیست مشتریان عادی در صف تماس مجدد  $ls_{q4}$
- لیست مشتریان ویژه در صف کارشناس فنی  $ls_{q5}$
- لیست مشتریان عادی در صف کارشناس فنی  $ls_{q6}$

## ۵. فعالیت‌ها

فعالیت‌های زیر در سیستم انجام می‌شود که زمان هر یک را به شکل زیر نشان می‌دهیم:

- فاصله‌ی بین ورود مشتری که توزیعی نمایی با میانگین  $\mu$  دارد.  $(t_{1,\mu}^*)$
- فاصله تا قطع تماس توسط مشتری که توزیعی یکنواخت با پارامترهای ۵ و  $\max(25, LQ)$  دارد.  $(t_2^*)$  (با توجه به صفی که در آن قرار می‌گیرد)
- مدت زمان لازم برای شروع اختلال در سیستم که توزیعی یکنواخت گسسته بین ۰ و ۲۹ دارد.  $(t_3^*)$
- زمان سرویس‌دهی متصدی متخصص که توزیع  $D_1$  دارد.  $(d_1^*)$
- زمان سرویس‌دهی متصدی تازه کار که توزیع  $D_2$  دارد.  $(d_2^*)$
- زمان سرویس‌دهی متصدی متخصص به صف تماس مجدد که با احتمال  $p_1$  برابر با صفر (عدم پاسخ مشتری) و با احتمال  $1 - p_1$  عددی تصادفی با توزیع  $D_1$  است.  $(b_1^*)$   $p_1$  احتمال پاسخ ندادن مشتری است که در صورت فاز اول به آن اشاره‌ای نشده بود)
- زمان سرویس‌دهی متصدی تازه کار به صف تماس مجدد که با احتمال  $p_1$  برابر با صفر (عدم پاسخ مشتری) و با احتمال  $1 - p_1$  عددی تصادفی با توزیع  $D_1$  است.  $(b_2^*)$
- زمان سرویس‌دهی کارشناس فنی که توزیع  $D_3$  دارد.  $(d_3^*)$

### ۵.۱ توضیحات متغیرهای تصادفی سیستم

با توجه به اینکه توزیع حضور مشتریان در یک دقیقه پواسون (با پارامتر  $\beta$ ) است، می‌توان نتیجه گرفت که فاصله‌ی بین حضور این مشتری تا یک مشتری بعدی توزیعی گاما با پارامترهای  $n=1$  و  $\frac{1}{\beta}$  است. پس فاصله بین حضور دو مشتری توزیعی نمایی با میانگین  $\frac{1}{\beta}$  دارد. همچنین در هنگام ایجاد پیشامد ورود یک مشتری سه ویژگی آن را با توزیعی که در صورت سوال گفته شده است ایجاد می‌کنیم. به این ترتیب هنگام ایجاد پیشامد ورود مشتری، مشخص می‌کنیم که  $t_1^*$  دقیقه بعد یک مشتری با ویژگی اول  $A_1^*$ ، ویژگی دوم  $A_2^*$  و ویژگی سوم  $A_3^*$ ، ویژگی چهارم  $A_4^*$  تماس می‌گیرد.  $A_1^*$  با احتمال ۰.۳ برابر ۱ (مشتری ویژه) و با احتمال ۰.۷ برابر صفر (مشتری عادی) است.  $A_2^*$  نیز با احتمال ۰.۵ برابر ۱ (تمایل مشتری به تماس مجدد) و با احتمال ۰.۵ برابر صفر (عدم تمایل به تماس مجدد) است.  $A_3^*$  با احتمال ۰.۱۵ برابر ۱ (عجل بودن مشتری و قطع کردن تماس پس از مدتی) و با احتمال ۰.۸۵ برابر صفر (صبور بودن مشتری) می‌باشد.  $A_4^*$  نیز با احتمال ۰.۱۵ برابر با ۱ (نیاز مشتری به بررسی فنی) و با احتمال ۰.۸۵ برابر با صفر است. همچنین چون توزیع  $A_2^*$  و  $A_3^*$  مستقل از یکدیگر است،  $A_3^*$  برای ۱۵ درصد افرادی که تماس مجدد نخواهند داشت نیز برابر با ۱ یک خواهد بود همچنین متغیر  $t_3^*$  مشخص می‌کند که چند روز بعد از شروع ماه اختلال رخ می‌دهد که عددی صحیح بین ۰ و ۲۹ است و به این معنی است که  $t_3^*$  روز بعد از شروع ماه، وضعیت اختلال شبکه برابر با  $NE=1$  خواهد شد. یک روز پس از این پیشامد، مجدداً  $NE=0$  خواهد شد.

## ۶. پیشامدها

پیشامدهای سیستم به شرح زیر میباشند:

- تغییر شیفت
- تغییر ماه
- شروع اختلال در سیستم
- پایان اختلال در سیستم
- تماس مشتری i ام
- اتمام سرویس دهی به مشتری i توسط متصدی تازه کار
- اتمام سرویس دهی به مشتری i توسط متصدی متخصص
- اتمام سرویس دهی به مشتری i توسط کارشناس فنی
- قطع کردن تماس توسط مشتری i ام

## ۷. فرضیات طراحی سیستم

هر ماه ۳۰ روز فرض شده است و در ابتدای ماه مشخص می شود که چند روز پس از آغاز ماه اختلال شبکه آغاز می شود و یک ساعت پس از شروع اختلال شبکه، اختلال به اتمام می رسد.

اینکه مشتری ویژه است یا عادی، احتمال دارد تماس مجدد بگیرد، پس از مدتی انتظار تماس را قطع کند و یا به کارشناس فنی نیاز پیدا می کند پیش از تماس گرفتن آن (هنگام پیشامد تماس مشتری قبلی و مشخص شدن ویژگی های مشتری بعدی) مشخص می شود و پس از پیشامد تماس همان مشتری با توجه به ویژگی مشتری و نفرات در صف تصمیم گرفته می شود که مشتری تمایل به تماس مجدد دارد یا اگر ممکن است تماس را قطع کند، این پیشامد پس از چند دقیقه اتفاق خواهد افتاد. همچنین اگر فرد نیاز به بررسی فنی داشته باشد پس از اتمام تماس با متصدی به کارشناس متخصص متصل می شود.

## ۸. چهار معیار برای ارزیابی عملکرد سیستم

### ۱. زمان تاخیر (انتظار) در صف

- میانگین زمان انتظار مشتریان ویژه در صف
- میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف
- میانگین زمان انتظار مشتریان ویژه در صف تماس مجدد
- میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف تماس مجدد
- میانگین زمان انتظار مشتریان در صف کارشناس فنی

### ۲. زمان بیکاری کارشناسان

- کل زمان بیکاری کارشناس تازه کار
- کل زمان بیکاری کارشناس متخصص
- کل زمان بیکاری کارشناس فنی

### ۳. درصد قطع کردن تماس توسط مشتری

- حاصل تقسیم تعداد مشتری‌هایی که پس از مدتی در صف بودند، تماس را قطع می‌کند به مشتری‌هایی که از گزینه‌ی تماس مجدد در ابتدای کار استفاده نمی‌کنند و وارد صف می‌شوند
- حاصل تقسیم تعداد کل مشتریانی که پس از تماس گرفتن، قطع می‌کنند به کل تماس‌های ورودی

### ۴. میانگین طول صف‌ها

- میانگین تعداد مشتریان ویژه در صف
- میانگین تعداد مشتریان عادی در صف
- میانگین تعداد مشتریان ویژه در صف تماس مجدد
- میانگین تعداد مشتریان عادی در صف تماس مجدد
- میانگین مشتریان در صف کارشناس فنی



#### ۸.۱. دلایل اهمیت معیارهای ذکر شده

۱. این موضوع که هر مشتری پس از ورود به سیستم تا اتمام کار وی در سیستم، چه زمانی را صرف نظر از مدت خدمت‌دهی، دچار تاخیر شده و ناچار به صبر کردن در صف بماند؛ بسیار حائز اهمیت است چرا که این موضوع بر روی رضایت مشتری از خدمت‌دهی تاثیر می‌گذارد. توجه به این نکته نیز مهم است که در صورت بالا بودن این زمان انتظار علاوه بر به وجود آمدن امکان نارضایتی مشتری، تماس از سمت وی قطع شود و مشتری از دست ما برود. همچنین این معیار می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کمک کند تا بتواند راه‌حلی برای این مشکل ارائه دهد، از جمله افزایش تعداد کارشناسان.

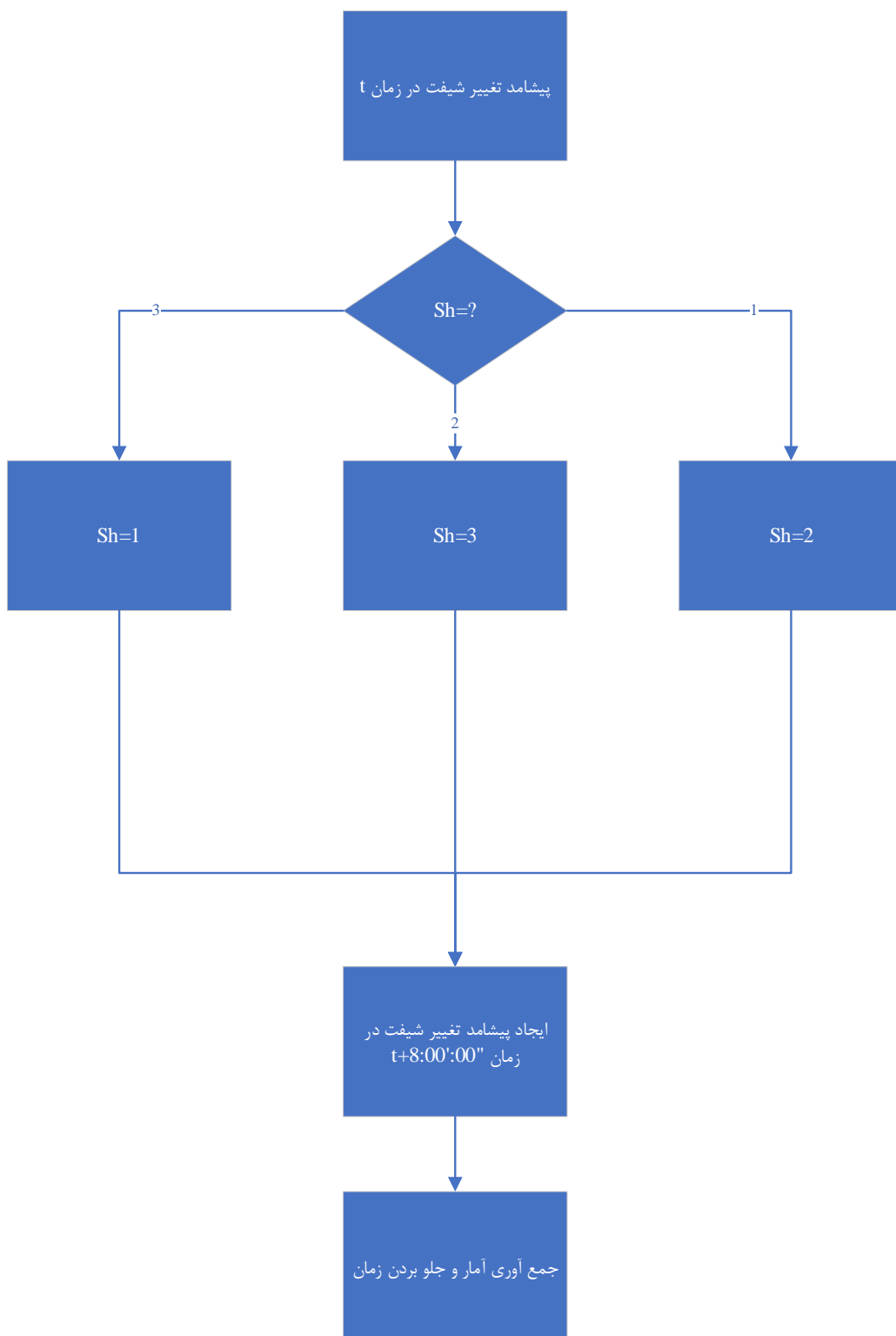
۲. در صورتی که زمان کل بیکاری هر یک از کارشناسان را در طول روز داشته باشیم، می‌توانیم با تقسیم کردن این عدد به کل ساعات کاری که ۸ ساعت است، درصد بیکاری کارشناسان را محاسبه کنیم. با استفاده از این درصد می‌توانیم برنامه‌ریزی بهتری برای سیستم داشته باشیم. بدین گونه که همزمان هر دو موضوع وقت بیکاری زیاد برخی کارشناسان و تاخیر (انتظار مشتریان در صف) را کاهش دهیم.

۳. اگر بدانیم در هر کدام از گروه‌های مشتری، یکی مشتریانی که پس از اطلاع از طول صف تماس را قطع می‌کنند و یکی مشتریانی که وارد صف می‌شوند و برای چندین دقیقه در صف می‌مانند و سپس تماس را قطع می‌کند؛ می‌توانیم راهکاری برای بالا بودن درصد این موارد مطرح کنیم تا بتوانیم نیاز مشتری را در همان تماس اول برطرف کنیم. این مورد از آن جایی اهمیت دارد که مشتریان به طور غریزی تمایل دارند زمانی که تماس می‌گیرند در کوتاه‌ترین زمان ممکن به هدف خود برسند. اگر مشتری تماس را قطع کند نوعی نارضایتی به وجود می‌آید و همچنین بعضاً احتمال از دست رفتن مشتری باشد.

۴. میانگین صف، بسیار شبیه به میانگین تاخیر مشتریان است. اگر این معیار را داشته باشیم می‌توانیم با استفاده از آن تغییرهایی را در نحوه‌ی خدمت‌دهی به وجود آوریم چرا که به طور کلی در صف بودن، مطلوب نیست. راه‌کارهایی می‌تواند برای برطرف کردن این مشکل ارائه شود از جمله مهیا کردن سرویس پاسخگویی خودکار (ضبط شده از قبل) در صورتی که سوالات مشتری جز موارد پر تکرار است.

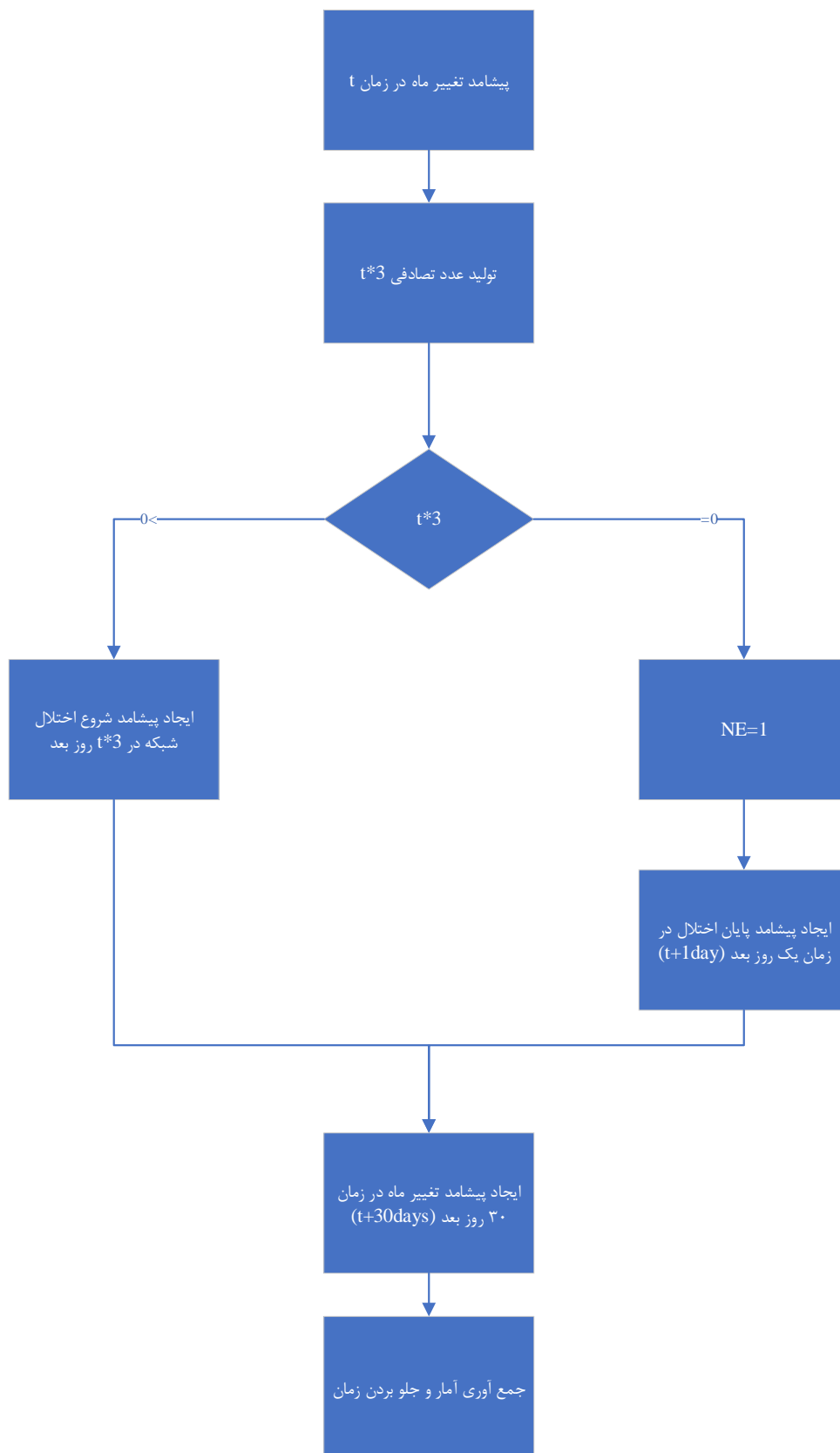
## ۹. تعریف پویای سیستم

پیشامد تغییر شیفت در زمان  $t$ :



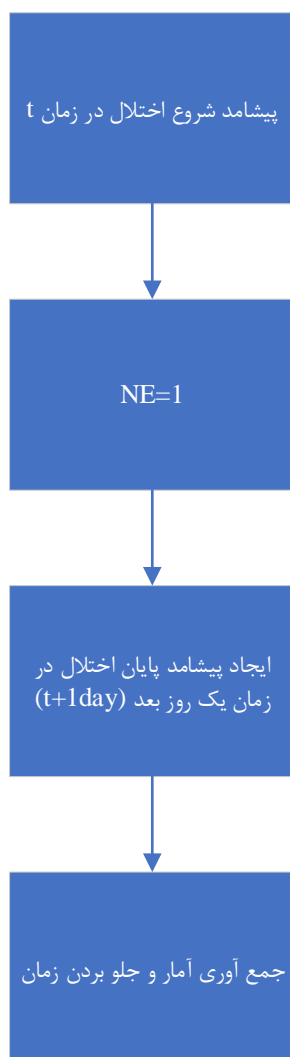
شکل ۱ - فلوچارت تغییر شیفت در زمان  $t$

پیشامد تغییر ماه در زمان  $t$ :



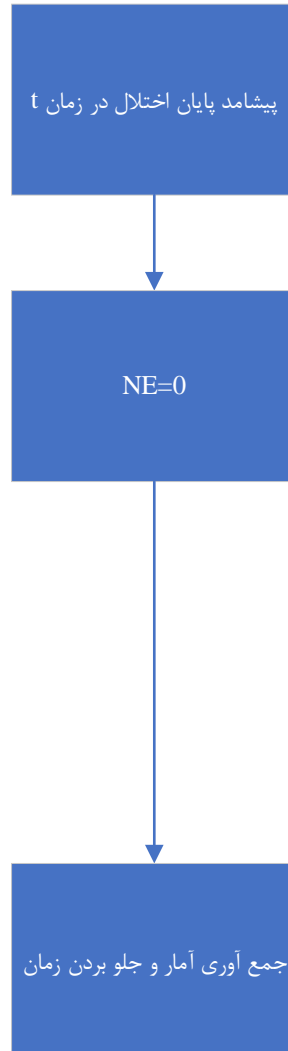
شکل ۲ - فلوچارت تغییر ماه در زمان  $t$

پیشامد شروع اختلال در سیستم در زمان  $t$ :



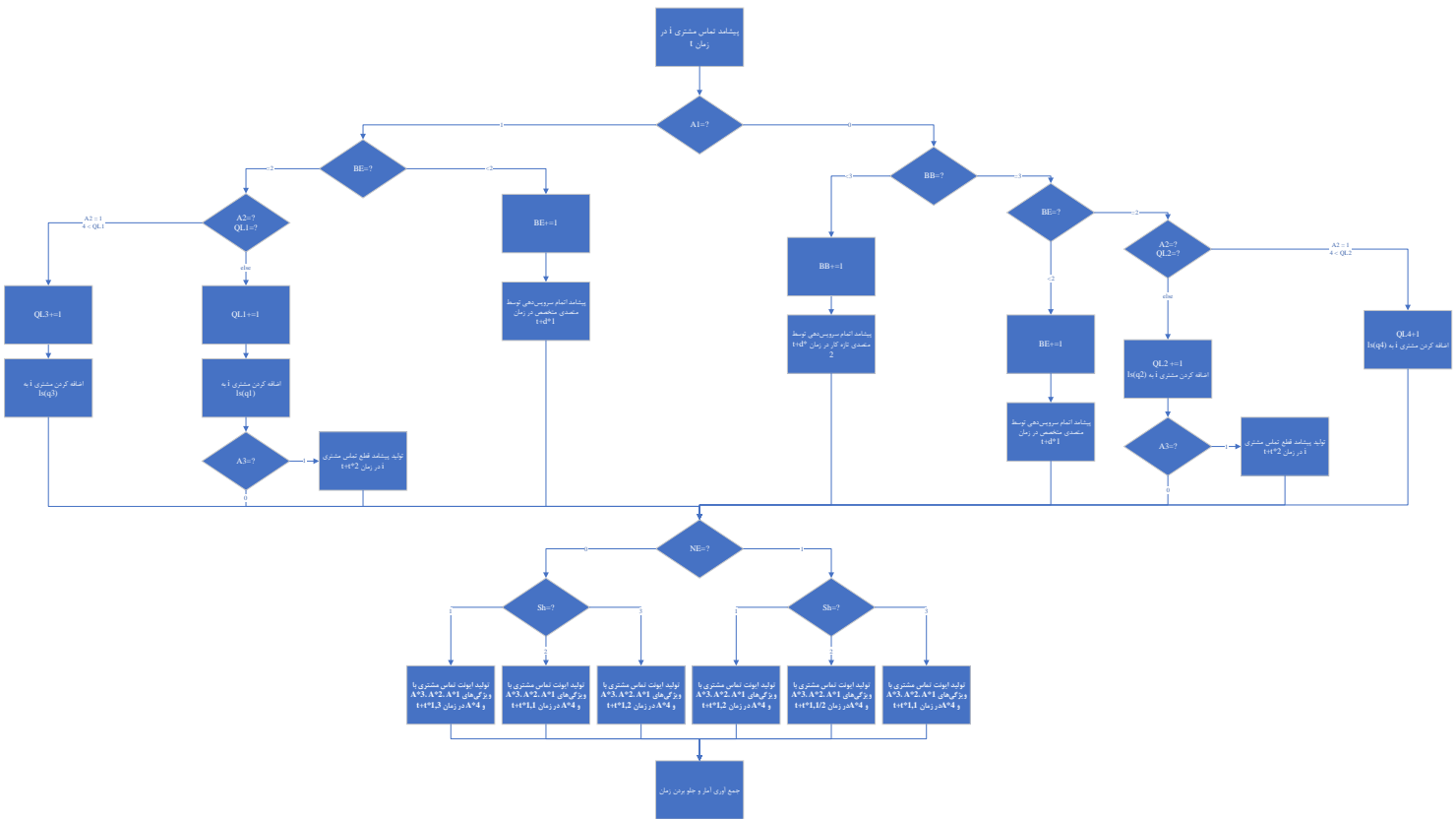
شکل ۳ - فلوچارت شروع اختلال در سیستم در زمان  $t$

پیشامد پایان اختلال در سیستم در زمان  $t$ :



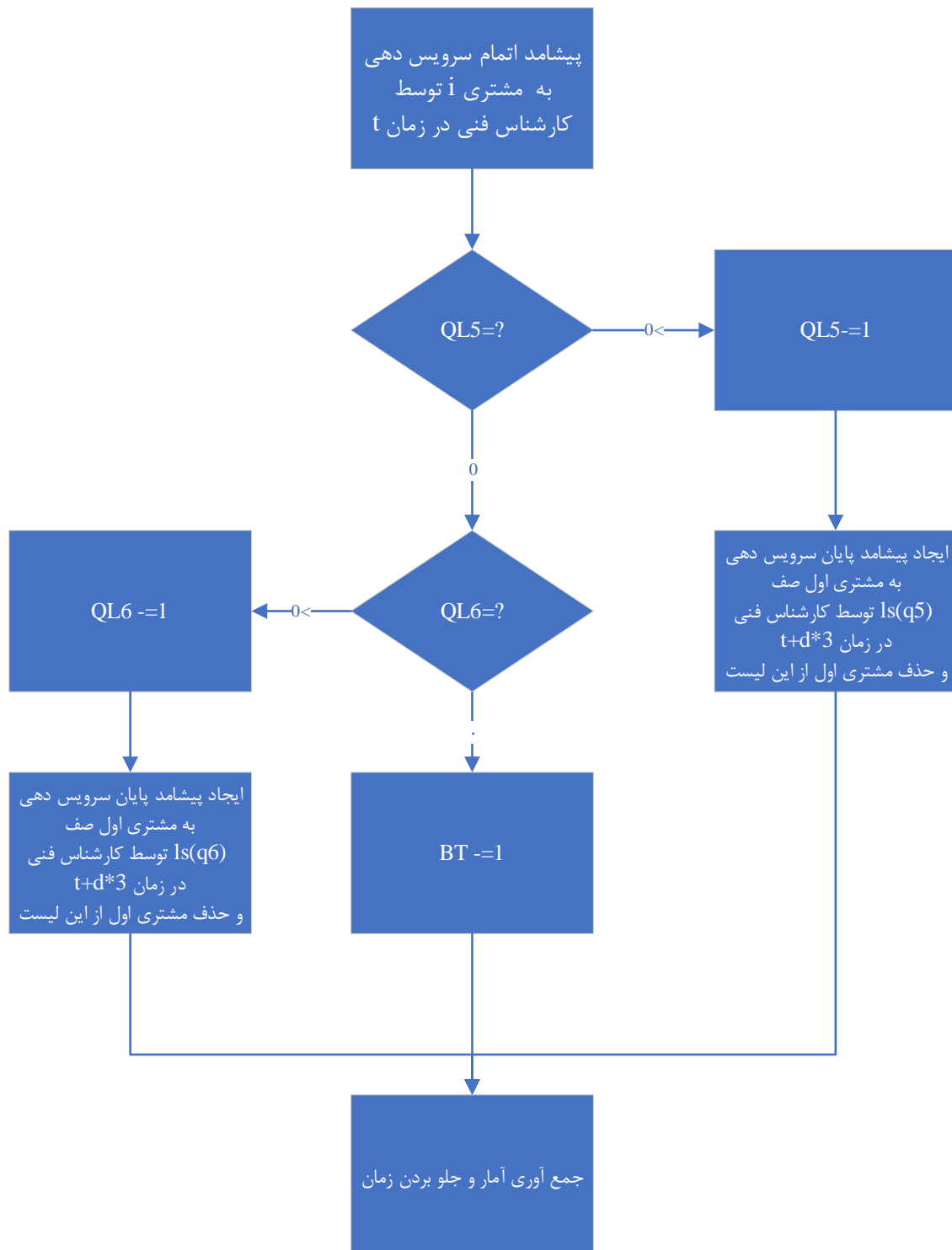
شکل ۴ - فلوچارت پایان اختلال در سیستم در زمان  $t$

پیشامد تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$ :



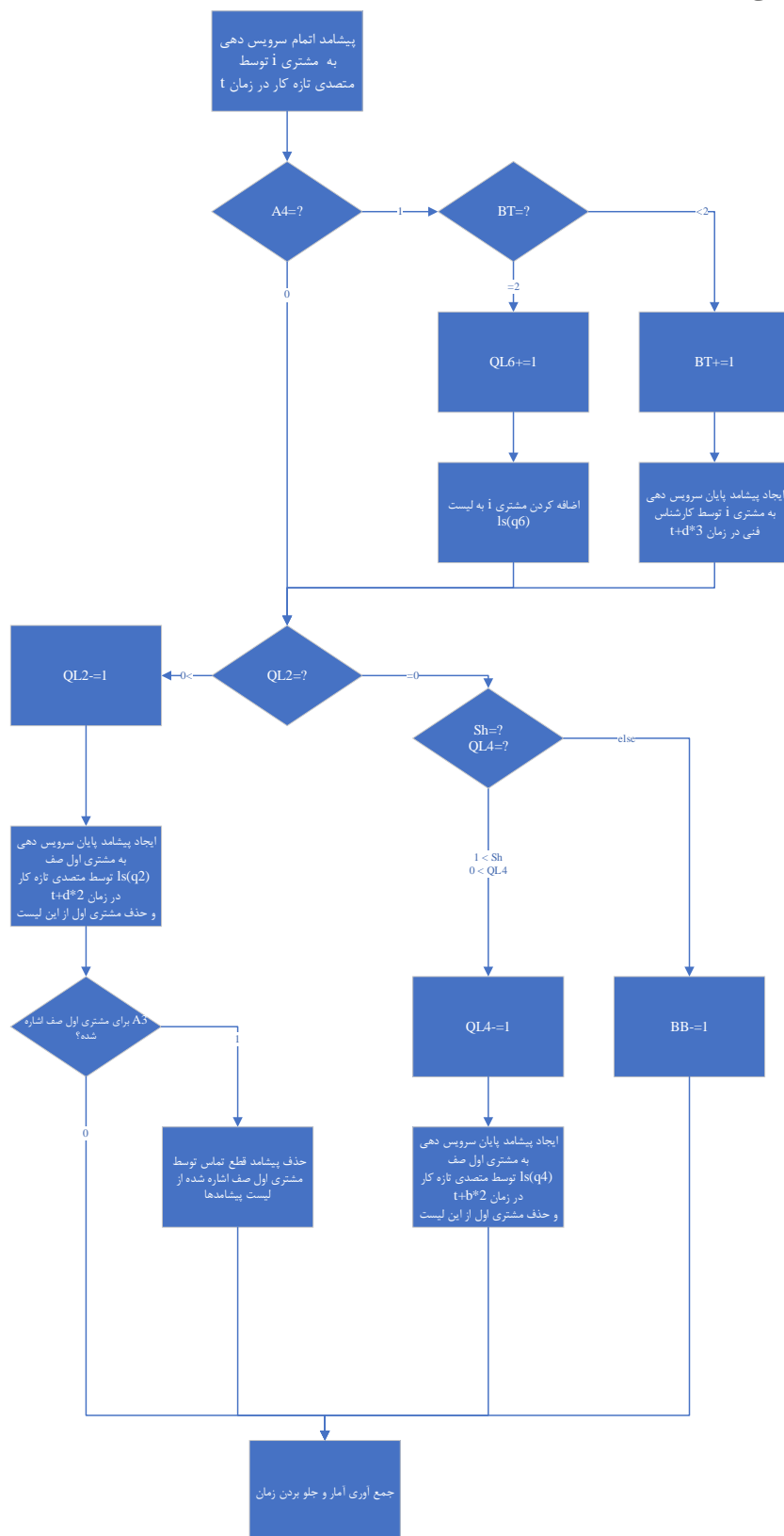
شکل ۵ - فلوجارت تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$

پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط کارشناس فنی در زمان  $t$ :



شکل ۶ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط کارشناس فنی در زمان  $t$

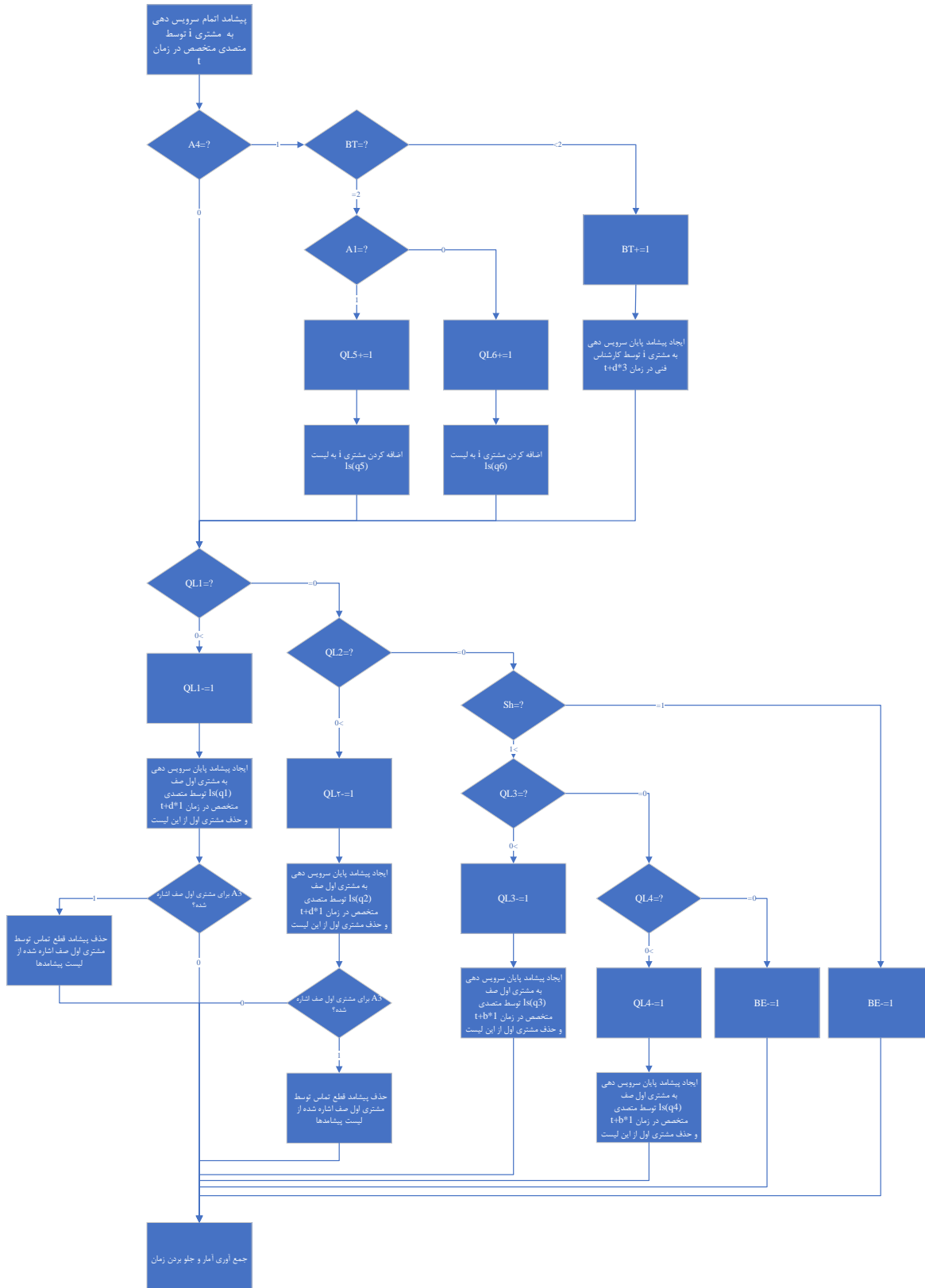
پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی تازه کار در زمان  $t$ :



شکل ۷ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی تازه کار در زمان  $t$

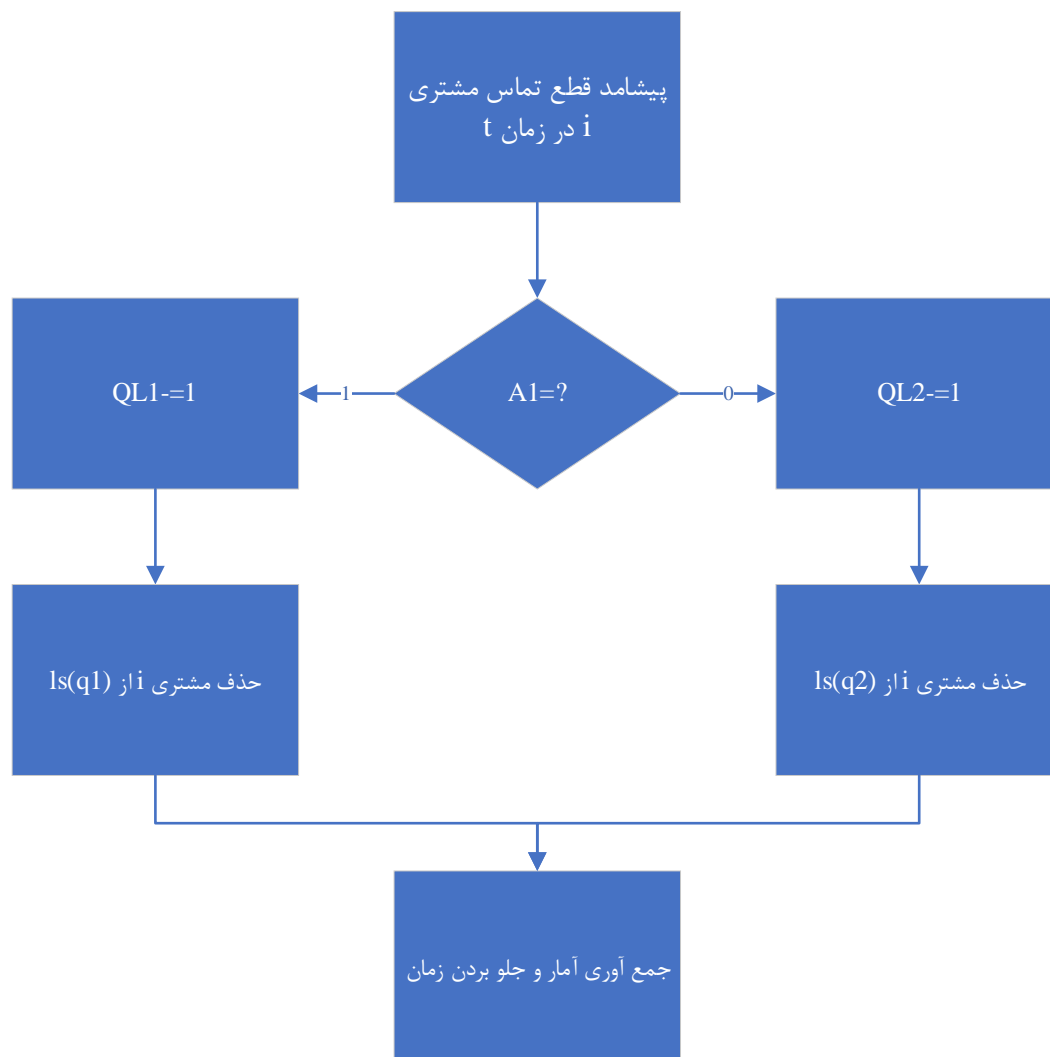


پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری i توسط متصدی متخصص در زمان t:



شکل ۸ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری از توسط متصدی متخصص در زمان  $t$

پیشامد قطع تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$ :



شکل ۹ - فلوچارت قطع تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$

## ۱۰. اعلان پیشامدها

- پیشامد تغییر شیفت در زمان  $t$   
(CHSH,  $t$ )  
در زمان  $t$  شیفت کاری تغییر پیدا می‌کند.
- پیشامد تغییر ماه در زمان  $t$   
(CHM,  $t$ )  
در زمان  $t$  ماه تغییر پیدا می‌کند.
- پیشامد شروع اختلال سیستم در زمان  $t$   
(NES,  $t$ )  
در زمان  $t$  سیستم اختلال پیدا می‌کند.
- پیشامد پایان اختلال در سیستم در زمان  $t$   
(NEE,  $t$ )  
در زمان  $t$  اختلال سیستم پایان می‌یابد.
- پیشامد تماس مشتری  $i$  ام در زمان  $t$   
(CR,  $t$ ,  $C_i$ )  
در زمان  $t$  مشتری  $C_i$  با مرکز تماس فروشگاه تماس می‌گیرد.
- پیشامد اتمام سرویس‌دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی تازه کار در زمان  $t$   
(BD,  $t$ ,  $C_i$ )  
در زمان  $t$  کار مشتری  $C_i$  توسط متصدی تازه کار به اتمام می‌رسد.
- پیشامد اتمام سرویس‌دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی متخصص در زمان  $t$   
(ED,  $t$ ,  $C_i$ )  
در زمان  $t$  کار مشتری  $C_i$  توسط متصدی متخصص به اتمام می‌رسد.
- پیشامد تماس مشتری  $i$  ام در زمان  $t$   
(TD,  $t$ ,  $C_i$ )  
در زمان  $t$  کار مشتری  $C_i$  توسط متصدی تازه کار به اتمام می‌رسد.
- پیشامد قطع کردن تماس توسط مشتری  $i$  ام در زمان  $t$   
(CC,  $t$ ,  $C_i$ )  
در زمان  $t$  مشتری  $C_i$  تماس خود را قطع می‌کند و از صف انتظار خارج می‌شود.

## ۱۱. لیست پیشامدهای آتی در لحظه‌ی شروع شبیه سازی

در شروع شبیه سازی متغیر شیفت کاری مقدار  $Sh=1$  را دارد و صف‌ها خالی از مشتری و تمام متصدیان و کارشناسان بیکار هستند. همچنین پیشامدهای تغییر شیفت کاری در دقیقه‌ی ۴۸۰ (۸ ساعت پس از شروع شبیه سازی) و تماس مشتری اول در زمان  $t_1^*$  که توزیعی نمایی با میانگین ۳ دارد در ابتدای شبیه سازی برنامه ریزی می‌شوند. پیشامد تغییر ماه در ۳۰ روز پس از شروع و پیشامد تغییر شروع اختلال سیستم در روز  $t_1^*$  ام نیز جز پیشامدهای آتی در لحظه‌ی شروع شبیه سازی است. بنابراین فهرست پیشامدهای آتی در لحظه‌ی شروع شبیه سازی به شکل زیر خواهد بود:

$$FEL = \{(CR, t_1^*, C_i), (CHSH, 480m), (NES, t_3^*), (CHM, 30days)\}$$

## ۱۲. تعیین توزیع‌های $D_1$ ، $D_2$ و $D_3$ و برآورد پارامترها

### ۱۲.۱. رویکرد مورد استفاده

پس از انجام پیش پردازش مربوط به هر توزیع که در ادامه به آن اشاره شده است، نتایج که داده‌های تمیز هستند هر کدام داخل شیت جداگانه‌ای در فایل اکسل clean\_data.xlsx ذخیره شده اند. سپس این داده‌ها را وارد نرم افزار مینی‌تب (minitab) می‌کنیم تا با کمک آن توزیع مناسب مربوط به هر سری از داده‌ها را به دست بیاوریم. با بررسی مقدار  $P$ ، توزیع مناسب را پیدا می‌کنیم. کافی است توزیعی را انتخاب کنیم که بیشترین مقدار  $P$  (بیشتر از ۰.۰۵) را داشته باشد.

### ۱۲.۲. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D_1$

نحوه‌ی به دست آوردن این داده‌ها از اکسل داده شده:

- ابتدا ستون نوع کاربر را بر اساس VIP فیلتر می‌کنیم
  - ستون نوبت خدمت‌گیری را روی عدد ۱ قرار می‌دهیم
  - ستون‌هایی که داده‌های NULL دارند را حذف می‌کنیم
  - زمان آغاز مکالمه را از پایان مکالمه کم می‌کنیم، نوع سلول را به general تغییر داده، عدد بدست آمده را در ۲۴ و سپس ۳۶۰۰ ضرب می‌کنیم تا مدت زمان خدمت دهی در واحد ثانیه بدست بیاید.
- پس از بررسی با توجه به مقادیر p-value توزیع‌ها، توزیع‌های gamma و Weibull (۳ پارامتره) برای بررسی داده‌های  $D_1$  انتخاب می‌شود. (از توزیع‌های Box-Cox و Johnson صرف‌نظر می‌کنیم و سعی می‌کنیم از توزیع‌های بررسی شده در درس استفاده کنیم). داده‌های آماری و مقدار  $P$  و پارامترهای هر در زیر هر بخش آمده است و همچنین این داده‌ها در فایل ضمیمه با نام phase2.mpx آورده شده است.

### Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
232	0	177.935	148.391	131	1.00000	718	0.987021	0.413766

### ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	177.93534		148.39094	
Box-Cox Transformation*	5.60374		1.97357	
Lognormal*	4.68461		1.20621	
3-Parameter Lognormal	5.02657		0.80538	-25.94756
Exponential			177.93534	
2-Parameter Exponential			177.70128	0.23405
Weibull		1.12023	185.12798	
3-Parameter Weibull		1.09643	182.89952	0.86121
Smallest Extreme Value	257.90408		174.01342	
Largest Extreme Value	111.61160		106.88518	
Gamma		1.14431	155.49546	
3-Parameter Gamma		1.16759	152.86050	-0.54301
Logistic	160.98724		83.58263	
Loglogistic	4.80971		0.65863	
3-Parameter Loglogistic	4.92253		0.55822	-10.48648
Johnson Transformation*	0.00313		1.04374	

\* Scale: Adjusted ML estimate

### Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	26.996	<0.005		
Box-Cox Transformation	0.379	0.404		
Lognormal	7.623	<0.005		
3-Parameter Lognormal	1.733	*	0.000	
Exponential	1.292	0.054		
2-Parameter Exponential	1.137	0.084	0.056	
Weibull	0.337	>0.250		
3-Parameter Weibull	0.395	0.398	0.062	
Smallest Extreme Value	67.721	<0.010		
Largest Extreme Value	7.952	<0.010		
Gamma	0.314	>0.250		
3-Parameter Gamma	0.330	*	0.263	
Logistic	16.434	<0.005		
Loglogistic	4.528	<0.005		
3-Parameter Loglogistic	2.839	*	0.003	
Johnson Transformation	0.581	0.130		

شکل ۱۰ - داده‌های آماری مربوط به توزیع  $D_1$

### ۱۲.۳. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D_2$

نحوه‌ی به دست آوردن این داده‌ها از اکسل داده شده:

- ابتدا ستون نوع کاربر را بر اساس Normal فیلتر می‌کنیم
  - ستون نوبت خدمت‌گیری را روی عدد ۱ قرار می‌دهیم
  - ستون‌هایی که داده‌های NULL دارند را حذف می‌کنیم
  - زمان آغاز مکالمه را از پایان مکالمه کم می‌کنیم، نوع سلول را به general تغییر داده، عدد بدست آمده را در ۲۴ و سپس ۳۶۰۰ ضرب می‌کنیم تا مدت زمان خدمت‌دهی در واحد ثانیه بدست بیاید.
- برای داده‌های  $D_2$  توزیع‌های gamma و Weibull برای بررسی انتخاب می‌شود.

### Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
606	0	429.315	414.017	321.5	2	3294	2.14918	7.46033

### ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	429.31518		414.01689	
Box-Cox Transformation*	4.59959		1.28427	
Lognormal*	5.55244		1.17395	
3-Parameter Lognormal	5.80896		0.86950	-43.02521
Exponential			429.31518	
2-Parameter Exponential			428.02149	1.29369
Weibull		1.06563	440.26341	
3-Parameter Weibull		1.04646	435.19403	1.91699
Smallest Extreme Value	667.62378		670.35031	
Largest Extreme Value	262.69009		256.21167	
Gamma		1.11809	383.97073	
3-Parameter Gamma		1.10457	387.97080	0.77400
Logistic	366.99288		204.76670	
Loglogistic	5.65627		0.64245	
3-Parameter Loglogistic	5.74285		0.56488	-19.00917
Johnson Transformation*	0.01223		1.02479	

\* Scale: Adjusted ML estimate

### Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	26.996	<0.005		
Box-Cox Transformation	0.379	0.404		
Lognormal	7.623	<0.005		
3-Parameter Lognormal	1.733	*	0.000	
Exponential	1.292	0.054		
2-Parameter Exponential	1.137	0.084	0.056	
Weibull	0.337	>0.250		
3-Parameter Weibull	0.395	0.398	0.062	
Smallest Extreme Value	67.721	<0.010		
Largest Extreme Value	7.952	<0.010		
Gamma	0.314	>0.250		
3-Parameter Gamma	0.330	*	0.263	
Logistic	16.434	<0.005		
Loglogistic	4.528	<0.005		
3-Parameter Loglogistic	2.839	*	0.003	
Johnson Transformation	0.581	0.130		

شکل ۱۱ - داده‌های آماری مربوط به توزیع  $D_2$

## ۱۲.۴. پیش پردازش و محاسبات مربوط به توزیع $D_3$

نحوه‌ی به دست آوردن این داده‌ها از اکسل داده شده:

- ستون نوبت خدمت گیری را روی عدد ۲ قرار می‌دهیم
  - ستون‌هایی که داده‌های NULL دارند را حذف می‌کنیم
  - زمان آغاز مکالمه را از پایان مکالمه کم می‌کنیم، نوع سلول را به general تغییر داده، عدد بدست آمده را در ۲۴ و سپس ۳۶۰۰ ضرب می‌کنیم تا مدت زمان خدمت دهی در واحد ثانیه بدست بیاید.
- برای داده‌های  $D_3$  هم توزیع‌های gamma و Weibull برای بررسی انتخاب می‌شود.

### Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
131	0	567.878	464.390	475	6	2511	1.47441	2.79506

### ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	567.87786		464.38986	
Box-Cox Transformation*	21.82538		9.60389	
Lognormal*	5.91856		1.10606	
3-Parameter Lognormal	6.35398		0.65340	-137.02796
Exponential			567.87786	
2-Parameter Exponential			566.20000	1.67786
Weibull		1.21220	604.30926	
3-Parameter Weibull		1.18714	596.63697	3.67774
Smallest Extreme Value	826.23812		617.04452	
Largest Extreme Value	369.29208		319.92726	
Gamma		1.32293	429.25846	
3-Parameter Gamma		1.45765	397.05588	-10.89026
Logistic	510.11321		243.71550	
Loglogistic	6.04063		0.58288	
3-Parameter Loglogistic	6.27722		0.42092	-91.82819
Johnson Transformation*	0.03890		1.02289	

\* Scale: Adjusted ML estimate

### Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	3.637	<0.005		
Box-Cox Transformation	0.276	0.651		
Lognormal	2.905	<0.005		
3-Parameter Lognormal	0.411	*	0.000	
Exponential	1.878	0.012		
2-Parameter Exponential	1.817	0.013	0.379	
Weibull	0.285	>0.250		
3-Parameter Weibull	0.353	0.478	0.625	
Smallest Extreme Value	9.715	<0.010		
Largest Extreme Value	0.812	0.035		
Gamma	0.436	>0.250		
3-Parameter Gamma	0.292	*	1.000	
Logistic	2.239	<0.005		
Loglogistic	1.567	<0.005		
3-Parameter Loglogistic	0.616	*	0.008	
Johnson Transformation	0.239	0.777		

شکل ۱۲ - داده‌های آماری مربوط به توزیع  $D_3$

## ۱۲.۵. فیت کردن توزیع‌ها، برآورد پارامتر و آزمون برازندگی

فرمول صریحی در اکسل برای فیت کردن و کار کردن با توزیع وایبول سه پارامتره و گامای سه پارامتره وجود نداشت به همین دلیل در این بخش از زبان برنامه‌نویسی پایتون برای فیت کردن توزیع، برآورد پارامترها و آزمون برازندگی مربع کای استفاده کرده ایم. اسکریپت مربوطه با نام chi-square.py ضمیمه شده است.

ابتدا کتابخانه‌های مربوطه را فراخوانی می‌کنیم و داده‌ها را می‌خوانیم. سپس آن‌ها را به لیست تبدیل می‌کنیم تا بتوانیم با کتابخانه reliability با آن‌ها کار کنیم. پس از برآورد داده‌ها به کمک reliability.Fitters برای درست کردن توزیع از کتابخانه‌ی reliability.Fitters کمک می‌گیریم. در نهایت با مشخص کردن ۱۶ bin، داده‌ها را دسته بندی می‌کنیم و به کمک chi2test تست مربع کای را انجام می‌دهیم. آلفای این تست‌ها را برابر با ۰.۰۵ در نظر می‌گیریم. این تست سه خروجی خواهد داشت که در بخش آخر کد به آن اشاره می‌کنیم.

پسوندهای متغیرها به این معانی هستند. (w:توزیع وایبول، g:توزیع گاما، عدد انتهایی:مربوط به D1، D2 یا D3 هستند)

```
import pandas as pd
from reliability.Fitters import Fit_Weibull_3P, Fit_Gamma_3P, Fit_Exponential_1P
from reliability.Distributions import
Weibull_Distribution, Gamma_Distribution, Exponential_Distribution
from reliability.Reliability_testing import chi2test
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')
#readind data
d1=pd.read_excel('2/clean_data.xlsx', sheet_name='D1', header=None)
d2=pd.read_excel('2/clean_data.xlsx', sheet_name='D2', header=None)
d3=pd.read_excel('2/clean_data.xlsx', sheet_name='D3', header=None)
#convert pandas DF to lists
data1=list(d1[0])
data2=list(d2[0])
data3=list(d3[0])

#fit and test weibull dist for D1
wb1 = Fit_Weibull_3P(failures=data1)
# print('alpha:',wb1.alpha,'\nbeta:',wb1.beta,'\ngamma:',wb1.gamma)
dist_w_1 = Weibull_Distribution(alpha=wb1.alpha,beta=wb1.beta,gamma=wb1.gamma)
# dist_w_1.inverse_SF(0.25)
# dist_w_1.CDF(247.23352197423867)
bins_w1=[0.001]
for i in range(10):
    bins_w1.append(dist_w_1.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.1))
chi2_test_w1=chi2test(dist_w_1,data=data1,significance=0.05,bins=bins_w1)

#fit and test Gamma dist for D1
gm1 = Fit_Gamma_3P(failures=data1)
# print('alpha:',gm1.alpha,'\nbeta:',gm1.beta,'\ngamma:',gm1.gamma)
dist_g_1 = Gamma_Distribution(alpha=gm1.alpha,beta=gm1.beta,gamma=gm1.gamma)
# dist_g_1.inverse_SF(0.25)
# dist_g_1.CDF(0.890839752681416)
bins_g1=[0.001]
for i in range(10):
    bins_g1.append(dist_g_1.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.1))
chi2_test_g1=chi2test(dist_g_1,data=data1,significance=0.05,bins=bins_g1)
```

شکل ۱۳ - فراخواندن کتابخانه‌ها، خواندن داده‌ها، فیت کردن و تست کردن توزیع D1



```
#fit and test weibull dist for D2
wb2 = Fit_Weibull_3P(failures=data2)
dist_w_2 = Weibull_Distribution(alpha=wb2.alpha,beta=wb2.beta,gamma=wb2.gamma)
bins_w2=[0.001]
for i in range(10):
    bins_w2.append(dist_w_2.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.1))
chi2_test_w2=chi2test(dist_w_2,data=data2,significance=0.05,bins=bins_w2)

#fit and test Gamma dist for D2
gm2 = Fit_Gamma_3P(failures=data2)
dist_g_2 = Gamma_Distribution(alpha=gm2.alpha,beta=gm2.beta,gamma=gm2.gamma)
bins_g2=[0.001]
for i in range(10):
    bins_g2.append(dist_g_2.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.10))
chi2_test_g2=chi2test(dist_g_2,data=data2,significance=0.05,bins=bins_g2)
```

شکل ۱۴- فیت کردن و تست کردن توزیع D2

```
#fit and test weibull dist for D3
wb3 = Fit_Weibull_3P(failures=data3)
dist_w_3 = Weibull_Distribution(alpha=wb3.alpha,beta=wb3.beta,gamma=wb3.gamma)
bins_w3=[0.001]
for i in range(10):
    bins_w3.append(dist_w_3.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.1))
chi2_test_w3=chi2test(dist_w_3,data=data3,significance=0.05,bins=bins_w3)

#fit and test Gamma dist for D3
gm3 = Fit_Gamma_3P(failures=data3)
dist_g_3 = Gamma_Distribution(alpha=gm3.alpha,beta=gm3.beta,gamma=gm3.gamma)
bins_g3=[0.001]
for i in range(10):
    bins_g3.append(dist_g_3.inverse_SF(1 - (i + 1) * 0.10))
chi2_test_g3=chi2test(dist_g_3,data=data3,significance=0.05,bins=bins_g3)
```

شکل ۱۵- فیت کردن و تست کردن توزیع D3

که پس از انجام آزمون نتایج زیر حاصل شد که با آلفای ۵ درصد توزیع وایبول و گاما برای هر سه داده پذیرفته شدند که با توجه به اینکه ضریب مربع کای برای آلفای مدنظر برای همه‌ی آزمون‌ها یکسان است، توزیعی که آماره‌ی آزمون (خطا) کمتری دارد را انتخاب می‌کنیم. بنابراین توزیع مناسب هر سه داده گامای سه پارامتره است.

	hypothesis	chisquared_statistic	chisquared_critical_value
weibull for d1:	ACCEPT	11.017241379310335	12.591587243743977
gamma for d1:	ACCEPT	7.568965517240711	12.591587243743977
weibull for d2:	ACCEPT	4.627062706270604	12.591587243743977
gamma for d2:	ACCEPT	4.231023102310377	12.591587243743977
weibull for d3:	ACCEPT	7.702290076335913	12.591587243743977
gamma for d3:	ACCEPT	7.396946564885496	12.591587243743977

شکل ۱۶- داده‌های مربوط به تست مربع کای توزیع‌های وایبول و گامای سه پارامتره

بنابراین با توجه به آزمون‌هایی که انجام شد توزیع‌های انتخاب شده برای داده‌ها توزیع‌های گامای سه پارامتره با پارامترهای زیر هستند:

	alpha	beta	gamma	mean	stdev
gamma for d1:	162.35104070701996	1.0905042263239393	0.890839752681416	177.9353357917766	169.53866279818587
gamma for d2:	397.2434950394143	1.0760708356340252	1.8529329533958094	429.3150726106391	412.0759084858875
gamma for d3:	435.5848433059195	1.3003325237794359	1.4728152328163657	567.8779538488728	496.70664738026466

شکل ۱۷ - پارامترها، میانگین و انحراف معیار توزیع‌های انتخاب شده

با این حال در بخش‌های بعد از توزیع نمایی با میانگین‌های داده شده برای خدمت دهی استفاده می‌کنیم.

### ۱۳. خروجی ها

تمام مواردی که برای بخش دوم فاز ۲ خواسته شده بود، در اکسل Simulation Project Phase2 موجود می باشد.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TT	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ
		VLP avg										No waiting VLP percentage										max length										average length										average waiting time										Efficiency		Efficacy		end-of-stay																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		tech-used					tech-not-used					tech-used					tech-not-used					Q1					Q2					Q3					Q4					Q5					Beginner		Normal		Technician		VLP		Actual																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Replication Number	Size	VLP avg					tech-used					tech-not-used					Q1					Q2					Q3					Q4					Q5					Beginner		Normal		Technician		VLP		Actual																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	76148	1012.945 134.710 135.014					0.939					0.979					31.100					35.100					55.500					5.000					17.000					0.236					1.043					0.183					16.219					0.571					0.536					104.411					32.996					103.840					13.051					9.285					14.2					0.002					0.014																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	240973	1029.000 126.000 123.604					0.930					0.985					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3	840613	1017.478 127.478 127.478					0.930					0.985					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
4	141134	1028.138 127.635 127.635					0.937					0.967					90.000					11.000					42.000					16.000					4.000					14.000					0.279					1.333					0.696					23.585					0.077					0.558					1.080					13.889					1.080					0.512					0.472					0.001					0.018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5	78551	1017.478 127.478 127.478					0.930					0.985					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
6	28133	1018.573 123.236 126.433					0.943					0.983					12.000					34.000					11.000					105.000					4.000					21.000					0.234					0.962					0.102					17.647					0.071					1.588					156.885					26.064					44.876					37.973					79.937					8.577					1.847					0.004					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
7	91137	1017.478 127.478 127.478					0.930					0.985					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
8	128150	1018.573 124.508 126.433					0.944					0.980					8.000					11.000					65.000					40.000					19.000					1.000					17.000					0.272					1.133					0.762					20.263					0.074					1.609					169.979					34.001					32.963					48.975					1.757					1.848					0.074					0.670					0.004					0.012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
9	467072	1017.583 119.290 126.002					0.972					0.988					8.000					30.000					12.000					134.000					4.000					15.000					0.247					1.136					1.414					14.553					0.072					1.403					168.503					36.005					118.072					32.218					68.721					2.624					10.2					0.002					0.007					0.048					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
10	246307	1013.086 123.086 123.086					0.938					0.988					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
11	642243	1015.055 120.018 126.248					0.944					0.973					8.969					8.969					43.000					19.000					4.000					15.000					0.273					0.174					0.133					12.213					0.066					0.619					168.808					32.801					187.565					10.000					78.717					2.924					10.2					0.002					0.007					0.048					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12	51618	1014.431 124.431 124.431					0.938					0.988					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
13	660330	1009.124 124.307 127.588					0.985					0.985					0.978					10.000					78.000					60.000					95.000					4.000					19.000					0.277					1.918					1.018					20.702					0.072					0.810					15.904					44.807					14.611					34.713					79.490					7.909					1.837					0.003					0.048					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
14	31944	1014.000 124.000 124.000					0.938					0.988					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
15	731046	1016.314 126.637 129.215					0.941					0.985					7.919					21.000					11.000					40.000					6.000					26.000					0.272					0.811					0.103					13.892					0.043					1.258					126.504					10.000					54.911					34.114					70.048					7.007					1.837					0.002					0.012					0.007																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
16	221747	1009.994 129.521 129.521					0.981					0.924					0.980					3.753					4.000					24.000					6.000					18.000					0.224					1.040					0.235					14.448					0.080					0.282					1.631					34.629					12.276					20.287					72.404					2.718					10.0					0.002					0.004					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
17	680380	1007.872 127.872 127.872					0.932					0.982					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
18	388440	1009.534 123.485 126.051					0.927					0.985					8.000					38.000					11.000					86.000					4.000					15.000					0.263					0.940					0.270					1.645					0.081					0.635					14.663					160.790					33.526					37.923					4.448					11.0					0.002					0.004					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
19	76416	1002.691 124.691 124.691					0.940					0.988					40.000					24.000					156.000					4.000					17.000					0.220					1.028					0.225					15.000					0.089					0.277					12.827					127.200					126.947					32.534					812.365					4.742					13.2					0.002					0.021					0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

شکل ۱۸ محاسبه خروجی شاخص‌های عملکرد با ۱۰۰ هسته‌ی متفاوت (نام ستون‌ها)

77	880097	1.035966	228.218	331.843	0.51	0.371	0.367	8.000	29.000	521.000	3.000	11.000	0.21	0.929	29.000	13.341	0.079	0.532	136.625	284.954	196.730	29.72185	916.226	4.684.098	0.003	0.511	0.446	0.002	0.015	
78	57461	1.642	120.623	62.067	0.87	0.89	0.885	0.800	42.000	27.000	38.000	1.000	0.008	0.258	0.076	0.274	0.053	0.048	154.619	120.000	177.500	95.7045	1.764.764	0.675	0.402	0.682	0.003	0.015		
79	478002	1.096	1.018	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
80	43171	1.03105	221.006	448.040	0.316	0.376	0.371	0.390	25.000	29.000	341.000	3.000	24.000	0.271	1.029	0.02	0.420	0.062	0.76	153.446	180.333	119.939	17.002	861.862	0.603	0.507	0.703	0.003	0.015	
81	51172	1.082	1.279	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
82	804900	0.026	0.55	225.51	0.11	0.064	0.185	0.805	18.000	27.000	362.000	6.000	29.000	0.263	1.066	0.304	0.091	0.056	106.561	180.429	129.117	12.364	99.808	0.515	0.708	0.582	0.500	0.019	0.003	
83	105759	1.035966	228.218	331.843	0.51	0.371	0.367	8.000	29.000	521.000	3.000	11.000	0.21	0.929	29.000	13.341	0.079	0.532	136.625	284.954	196.730	29.72185	916.226	4.684.098	0.003	0.511	0.446	0.002	0.015	
84	680004	1.000	446	234.423	0.300	0.403	0.399	8.000	52.000	24.000	139.000	4.000	12.000	0.365	0.943	0.222	0.144	0.087	158.913	102.000	108.815	11.997	148.800	0.616	0.542	0.671	0.497	0.009	0.003	
85	680004	1.000	446	234.423	0.300	0.403	0.399	8.000	52.000	24.000	139.000	4.000	12.000	0.365	0.943	0.222	0.144	0.087	158.913	102.000	108.815	11.997	148.800	0.616	0.542	0.671	0.497	0.009	0.003	
86	627949	1.061	241.31	234.463	0.354	0.373	0.375	0.399	29.000	29.000	36.000	4.000	21.000	0.270	0.500	0.229	0.183	0.062	0.573	155.864	300.000	173.227	16.1748	738.531	0.576	0.647	0.500	0.677	0.002	0.003
87	627949	1.061	241.31	234.463	0.354	0.373	0.375	0.399	29.000	29.000	36.000	4.000	21.000	0.270	0.500	0.229	0.183	0.062	0.573	155.864	300.000	173.227	16.1748	738.531	0.576	0.647	0.500	0.677	0.002	0.003
88	565701	1.035966	228.218	331.843	0.51	0.371	0.367	8.000	29.000	521.000	3.000	11.000	0.21	0.929	29.000	13.341	0.079	0.532	136.625	284.954	196.730	29.72185	916.226	4.684.098	0.003	0.511	0.446	0.002	0.015	
89	590263	0.027	0.621	234.463	0.304	0.362	0.367	0.363	11.000	28.000	24.000	3.000	11.000	0.266	1.077	0.362	0.181	0.084	162.263	133.879	166.000	8.82229	239.229	0.507	0.					
90	590263	0.027	0.621	234.463	0.304	0.362	0.367	0.363	11.000	28.000	24.000	3.000	11.000	0.266	1.077	0.362	0.181	0.084	162.263	133.879	166.000	8.82229	239.229	0.507	0.					
91	547374	0.906227	226.653	323.048	0.482	0.382	0.377	0.390	28.000	27.000	40.000	4.000	18.000	0.270	0.501	0.217	0.132	0.068	0.516	154.723	278.000	164.650	16.90615	985.450	0.621	0.662	0.503	0.646	0.002	0.015
92	478002	1.096	1.018	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
93	578041	1.06125	225.748	348.200	0.318	0.384	0.378	0.390	25.000	29.000	318.000	4.000	18.000	0.264	0.979	0.153	0.162	0.077	0.559	180.000	202.308	178.000	17.11277	901.394	0.608	0.632	0.622	0.002	0.003	
94	806431	1.047	0.868	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
95	44865	0.98523	229.346	322.128	0.500	0.379	0.379	0.390	27.000	46.000	329.000	6.000	18.000	0.297	0.844	0.085	0.407	0.065	0.546	187.760	204.700	174.000	11.08352	1.174.788	0.518	0.671	0.588	0.004	0.005	
96	515199	1.082	1.279	0.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
97	874328	0.027	0.712	217.277	0.114	0.066	0.094	0.399	19.000	29.000	368.000	4.000	18.000	0.236	0.976	0.292	0.184	0.062	0.844	144.624	120.768	118.000	15.00265	779.708	0.502	0.645	0.499	0.499	0.008	0.005
98	400714	1.031	409	248.000	0.316	0.376	0.371	0.390	25.000	29.000	341.000	3.000	24.000	0.271	1.029	0.02	0.420	0.062	0.76	153.446	180.333	119.939	17.002	861.862	0.603	0.507	0.703	0.003	0.015	
99	524051	1.03105	223.626	319.514	0.511	0.392	0.384	0.394	28.000	40.000	395.000	7.000	20.000	0.264	1.292	0.142	0.1674	0.079	0.634	173.762	204.490	142.862	10.24658	1.139.977	0.548	0.648	0.501	0.744	0.004	0.015
100	524051	1.03105	223.626	319.514	0.511	0.392	0.384	0.394	28.000	40.000	395.000	7.000	20.000	0.264	1.292	0.142	0.1674	0.079	0.634	173.762	204.490	142.862	10.24658	1.139.977	0.548	0.648	0.501	0.744	0.004	0.015
Average	1.01658	225.737	319.514	0.342	0.386	0.380	0.400	48.380	28.780	358.090	4.820	16.560	0.269	1.018	0.385	0.134	0.075	0.587	156.615	323.172	194.710	19.69670	972.646	0.526	0.671	0.480	0.502	0.468	0.003	0.014

شکل ۱۹ محاسبه خروجی شاخص‌های عملکرد با ۱۰۰ هسته‌ی متفاوت (میانگین ستون‌ها)

از برنامه‌ی پایتون، ۱۰۰ بار مختلف با ۱۰۰ هسته‌ی متفاوت خروجی‌ها را برای ۳۰ روز شبیه‌سازی به دست آورده و میانگین

میگیریم. تمام خروجی‌های خواسته شده در این بخش محاسبه شده است. این اطلاعات در شیت 100 Replication for

”30 Days موجود است. همچنین به عنوان شاخص آخر یکی از شاخص‌های فایل خود (درصدی از مشتریانی که داخل

صف قرار میگیرند و تماسشان را قطع می کنند) را ارائه کرده ایم.

## ۱۴. تحلیل خروجی

میانگین زمان حضور مشتریان ویژه، به طور کلی برابر است با ۳۲۹ ثانیه. برای دانستن جزییات، میانگین حضور در سیستم زمانی که فرد به کارشناس فنی دارد حدود ۱۰۲۳ ثانیه و در صورتی که مشتریان ویژه نیاز به کارشناس فنی ندارند میانگین مدت زمان انتظار ۲۲۵ ثانیه است.

این در حالی است که درصد مشتریان ویژه‌ای که بدون ایستادن در صف کارشان به اتمام می‌رسد حدود ۳۸ درصد خواهد بود. در میان این دسته از مشتریان، اگر نیاز به کارشناس فنی باشد حدود ۳۴ درصد نیازی به ایستادن در صف ندارند و این عدد برای حالتی که نیازی به کارشناس فنی نیست ۳۹ درصد است. (یعنی از بین کسانی که نیاز به پشتیبانی فنی ندارند، ۳۹ درصدشان در صف قرار نمی‌گیرند و از میان آن‌هایی که نیاز به پشتیبانی فنی دارند ۳۴ درصد در هیچ صفی قرار نمی‌گیرند).

بهره‌وری برای هر یک از کارشناسان تازه‌کار و متخصص و فنی به ترتیب برابر ۶۸ و ۵۰ و ۴۶.۸ درصد است. برای مشتریانی که وارد صف می‌شوند، اگر این مشتری از نوع ویژه باشد حدود ۰.۳ درصد قطع تماس از طرف مشتری و اگر مشتری عادی باشد ۱.۴ درصد قطعی خواهیم داشت.

حال به بررسی ۶ صف موجود می‌پردازیم:

۱. صف مشتریان ویژه

میانگین این صف ۰.۲۶۹ نفر هست که نشانه‌ی خوبی است. اما بیشینه‌ی تعداد افراد در صف تقریباً ۹ نفر است. از سوی دیگر ۱۵۶.۶ ثانیه میانگین زمان انتظار مشتریان ویژه در صف می‌شود.

۲. صف مشتریان عادی

بیشینه افراد حاضر در این صف برابر است با ۴۸ نفر، که میانگینی برابر ۱۰.۱۸ نفر در هر لحظه است. به طور میانگین مدت زمان انتظار در صف برای این دسته از مشتری ۳۲۳ ثانیه می‌باشد.

۳. صف مشتریان ویژه تماس مجدد

حداکثر طول صف ۲۸، میانگین افراد در صف ۰.۳۸۵ و میانگین زمان انتظار این صف برابر ۱۹۱۴۱ است.

۴. صف مشتریان عادی تماس مجدد

حداکثر طول صف ۳۵۸، میانگین افراد در صف ۱۵.۳ و میانگین زمان انتظار این صف برابر ۳۲۷۰۴ است.

۵. صف مشتریان ویژه کارشناس فنی

به طور متوسط در هر لحظه ۰.۰۷۵ نفر در صف انتظار هستند. حداکثر طول صف حدود ۴.۸ است و میانگین زمان انتظار در این صف ۸۷۲.۶ ثانیه است.

۶. صف مشتریان عادی کارشناس فنی

به طور متوسط در هر لحظه ۰.۵۸۷ نفر در صف انتظار هستند. حداکثر طول صف حدود ۱۶.۵۶ است و میانگین زمان انتظار در این صف ۵۲۶۲ ثانیه است.

## ۱۵. برآورد فاصله اطمینان برای ۳ خروجی

محاسبات انجام شده با اطلاعات موجود در شیت “100 Replication for 30 Days” است. همچنین آلفا ۵ درصد محاسبه شده و جزییات محاسبه به ترتیب در شیت های VIP average In-system no-tech و average length Queue 6 و Beginners Efficiency موجود می باشد.

برآورد نقطه‌ای برابر میانگین است که در قسمت‌های قبل محاسبه شده است و نتیجه‌ی محاسبه فاصله اطمینان عبارت است از :

۱. مشتریان ویژه‌ای که نیاز به تماس مجدد ندارند، متوسط زمان سپری شده در سیستم

[218,7 , 232.7]

۲. میانگین طول صف مشتریان عادی کارشناس فنی

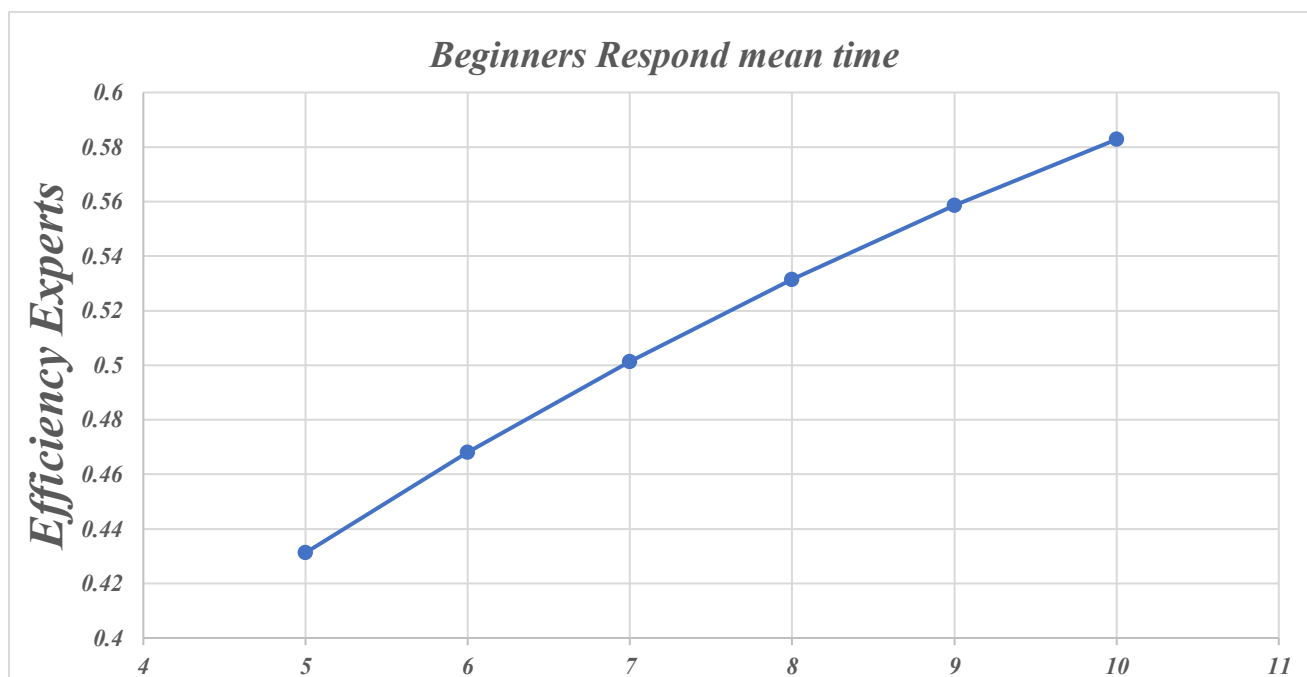
[0.4 , 0.77]

۳. بهره‌وری کارشناسان تازه‌کار

[0.672 , 0.688]

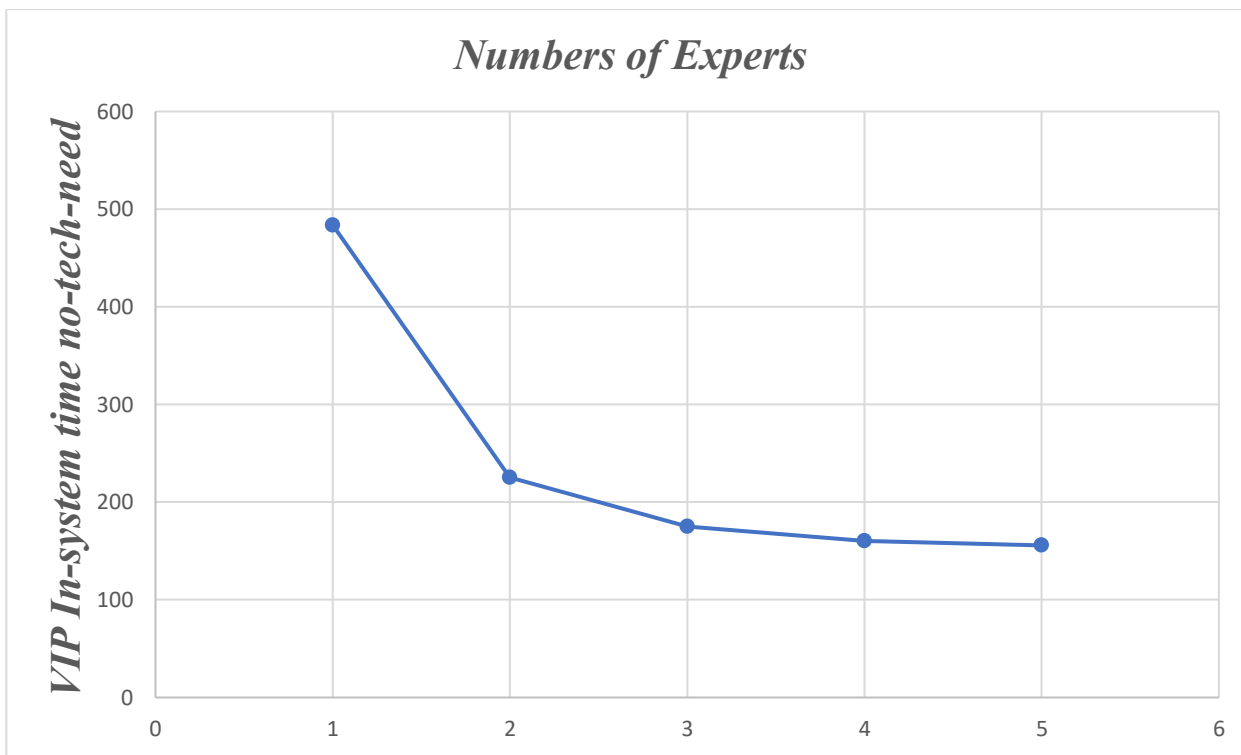
## ۱۶. تحلیل حساسیت

در شیت “Sensitivity Analysis 1” میانگین زمانی پاسخ دادن کارشناس تازه کار، تغییر کرده است. در این بخش ما تاثیر این توزیع را از اعداد ۵ تا ۱۰ به روی بهره‌وری کارشناسان متخصص بررسی کردیم و نتیجه نشان می‌دهد با زیاد شدن زمان پاسخگویی کارشناس تازه کار، بهره‌وری کارشناس متخصص زیاد می‌شود که این به معنای این است که متخصص‌ها مشغول پاسخ به مشتریان عادی شده‌اند.



شکل ۱۹ نمودار تحلیل حساسیت کارایی (درصد مشغول بودن) متصدی حرفه‌ای به ازای میانگین‌های مختلف برای مدت زمان پاسخگویی متصدی تازه کار

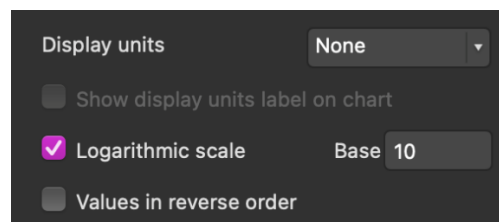
در شیت “Sensitivity Analysis 2” تعداد کارشناسان متخصص را از ۱ تا ۵ نفر تغییر دادیم. نتیجه‌ی این تغییر را روی میانگین مدت زمان سپری شده‌ی مشتری ویژه‌ای که نیاز به کارشناس فنی ندارد را بررسی کرده‌ایم. این تغییر برای تبدیل شدن ۱ متخصص به ۲ متخصص بسیار مشهور است و سپس شیب کاهش زمان سپری شده در سیستم کاهش می‌یابد.



شکل ۲۰ نمودار تحلیل حساسیت میانگین زمان در سیستم بودن مشتریان ویژه (ثانیه) به ازای تعداد مختلف متصدی حرفه‌ای

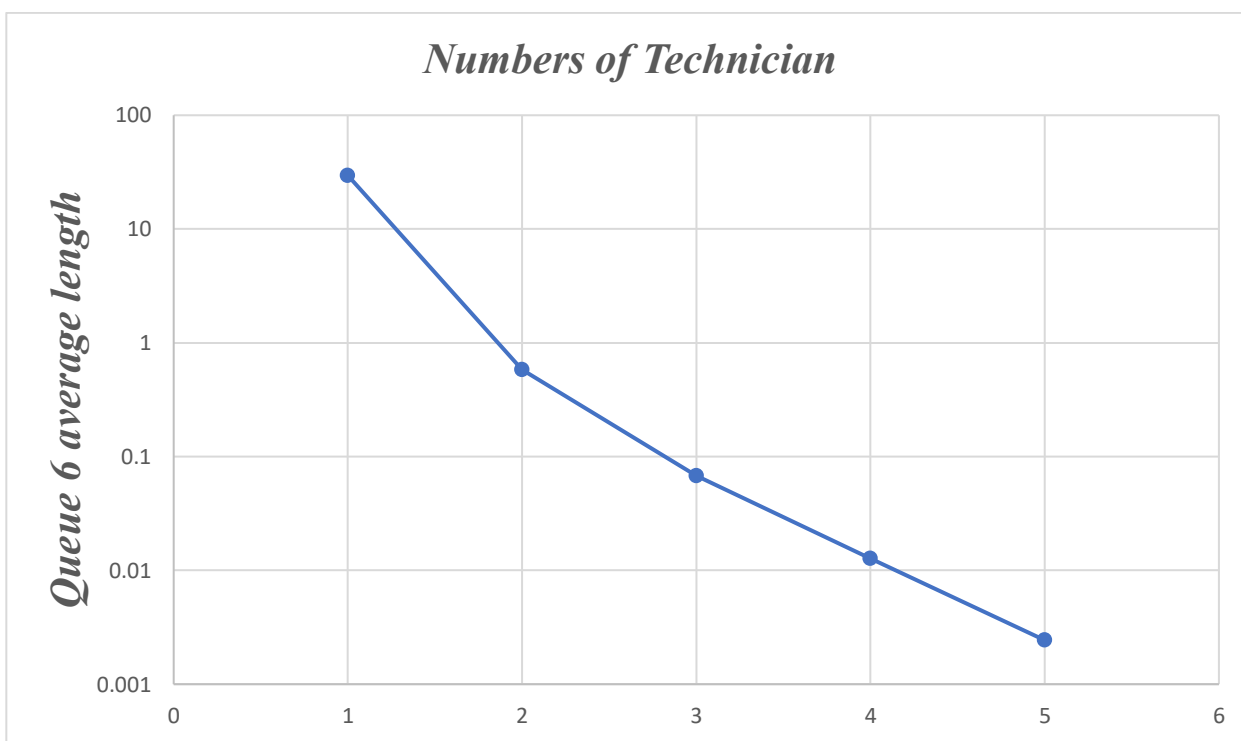


در شیت “Sensitivity Analysis 3” تعداد کارشناسان فنی را از ۱ تا ۵ نفر تغییر دادیم. تاثیر این تغییر را به روی میانگین طول صف ۶ که مشتریان عادی در انتظار کارشناسان متخصص هستند را بررسی کردیم. لازم به ذکر است که برای مشخص شدن نحوه‌ی تغییر مقدار زمان انتظار، نمودار رسم شده را لگاریتمی کردیم.



شکل ۲۱ رسم نمودار لگاریتمی

در این حالت نموداری به شکل زیر خواهیم داشت:



شکل ۲۲ نمودار لگاریتمی تحلیل حساسیت طول میانگین طول صف ششم به ازای تعداد تکنسین‌های مختلف

## ۱۷. آماره‌های تجمعی و فرمول معیارهای مدیریتی

۱. میانگین زمان تاخیر (انتظار) در صف

- میانگین زمان انتظار مشتریان ویژه در صف
- میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف
- میانگین زمان انتظار مشتریان ویژه در صف تماس مجدد
- میانگین زمان انتظار مشتریان عادی در صف تماس مجدد
- میانگین زمان انتظار مشتریان در صف کارشناس فنی

$$\frac{\text{sum of waiting time for customers}}{\text{total numbers of customers that have been serviced}}$$

۲. میانگین زمان سپری شده در سیستم

- میانگین زمان سپری شده مشتریان ویژه در سیستم
- میانگین زمان سپری شده مشتریان عادی در سیستم
- میانگین زمان سپری شده مشتریان ویژه در سیستم تماس مجدد
- میانگین زمان سپری شده مشتریان عادی در سیستم تماس مجدد
- میانگین زمان سپری شده مشتریان در سیستم کارشناس فنی

$$\frac{\text{sum of spending time in sysetm for cusomers}}{\text{total numbers of customers that have been serviced}}$$

۳. میانگین زمان خدمت‌دهی در سیستم

- میانگین زمان خدمت‌دهی مشتریان ویژه
- میانگین زمان خدمت‌دهی مشتریان عادی
- میانگین زمان خدمت‌دهی مشتریان ویژه ، تماس مجدد
- میانگین زمان خدمت‌دهی مشتریان عادی ، تماس مجدد
- میانگین زمان خدمت‌دهی مشتریان ، کارشناس فنی

$$\frac{\sum(\text{time when customer call finished} - \text{time when customer call started})}{\text{total numbers of customers that have been serviced}}$$

۴. درصد بیکاری کارشناسان (بهره‌وری کارشناسان)

- درصد سرویس‌دهی کارشناس تازه‌کار
- درصد سرویس‌دهی کارشناس متخصص
- درصد سرویس‌دهی بیکاری کارشناس فنی

$$\text{Total busy time} / \text{Total time spend during day}$$

۵. درصد قطع کردن تماس توسط مشتری

- حاصل تقسیم تعداد مشتری‌هایی که پس از مدتی در صف بودند، تماس را قطع میکند به مشتری‌هایی که از گزینه‌ی تماس مجدد در ابتدای کار استفاده نمی‌کنند و وارد صف می‌شوند.

$$\frac{\text{customers enter the call queue}}{\text{Customers who calls} - \text{customers who request a call from center}}$$

- حاصل تقسیم تعداد کل مشتریانی که پس از تماس گرفتن، قطع می‌کنند به کل تماس‌های ورودی

$$\frac{\text{Number of every customer who hang the phone off after calling}}{\text{Number of every recieved call}}$$

۶. میانگین طول صف‌ها

- میانگین تعداد مشتریان ویژه در صف
- میانگین تعداد مشتریان عادی در صف
- میانگین تعداد مشتریان ویژه در صف تماس مجدد
- میانگین تعداد مشتریان عادی در صف تماس مجدد
- میانگین مشتریان در صف کارشناس

$$\frac{\int_{t_s}^{t_f} (\text{waiting customers in queue}) * dt}{\text{Total number of customers}}$$

علاوه بر محاسبه میانگین می‌توان از آماره‌های زیر نیز استفاده کرد:

- واریانس
- احتمال موفقیت تماس پس از برقراری تماس ( مشتریانی که تماس گرفته‌اند و به آن‌ها پاسخ داده شده، یا مشتریانی که درخواست تماس مجدد دادند و تماس با آن‌ها برقرار شده و آن‌ها هم پاسخگو بودند)
- محاسبه quantiles ها، برای مثال ۹۰ درصد مشتری ها به مقدار زمان  $t$  در صف انتظار بودند

## ۱۸. فایل output.xlsx

در فایل output.xlsx قدم‌های مربوط به ۳ ماه شبیه سازی آورده شده است که ستون آماره‌های تجمعی داخل کد در این فایل قابل مشاهده است. در آخر نیز KPI های محاسبه شده از این اجرای سه ماهه برابر به مقادیر زیر است:

```
-----
seed = 223330
VIP average In-system time (sec):
    tech-need = 1019.366
    no-tech-need = 226.781
    total = 330.673
No waiting VIP percentage:
    tech-need = 0.335
    no-tech-need = 0.384
    total = 0.377
Queue stats
    max length:
        Queue 1= 12
        Queue 2= 53
        Queue 3= 45
        Queue 4= 381
        Queue 5= 6
        Queue 6= 22
    average length:
        Queue 1= 0.808
        Queue 2= 3.038
        Queue 3= 1.062
        Queue 4= 45.283
        Queue 5= 0.238
        Queue 6= 1.882
    average waiting time (sec):
        Queue 1= 156.323
        Queue 2= 313.154
        Queue 3= 18853.682
        Queue 4= 31191.339
        Queue 5= 935.006
        Queue 6= 6061.609
Efficiency:
    Beginners = 2.057
    Experts = 1.51322
    Technician = 1.408
end-call stats:
    VIP = 0.003
    Normal = 0.01364
```

## ۱۹. توضیحات کد فاز دوم

کد در فایل ضمیمه آمده است. در آن ابتدا از تابع `tt` برای تبدیل زمان به ثانیه استفاده شده است. سپس توابع تولید عدد رندوم نوشته شده اند. سپس کلاس `Person` که به وسیله‌ی آن هر مشتری تعریف شده و ویژگی‌های آن تعیین می‌شود. همچنین در باقی مسیر برخی آمارهای مربوط به هر مشتری داخل آن ثبت می‌شود.

پس از آن تابع حالت آغازین به همراه دیکشنری‌های `data` و `state` آورده شده است. پس از آن تابع `FEL_maker` آورده شده است که با توجه به نوع رویداد زمان آن را مشخص می‌کند و آن را به `FEL` اضافه می‌کند.

در ادامه به ازای هر فلوچارت که در بخش ۹ آورده شد، یک تابع نوشته شده است و آماره‌های تجمعی در آن محاسبه می‌شوند و پس از آن توابع مربوط به فایل `output.xlsx` آورده شده و در نهایت در تابع `simulation` پس از اجرا شدن شبیه سازی تا زمان داده شده، `KPI` های مورد نظر با توجه به آماره‌های تجمعی محاسبه می‌شوند. همچنین شبیه سازی به جز زمان کل شبیه سازی سه ورودی دیگر نیز دریافت می‌کند که مربوط به تحلیل حساسیت است و برای اجرای ساده تر آن بخش‌ها، این قسمت به صورت ورودی به تابع شبیه سازی داده می‌شود.

برخی آماره‌ها نیز در کد کامنت شده اند که برای `validation` سیستم بوده است و پس از اعتبار سنجی سیستم کامنت شده اند. همچنین توضیحات بیشتر کد به صورت کامنت داخل آن آمده است.

همچنین بخش آخر کامنت شده مربوط به ران‌هایی است که برای بازه اطمینان و تحلیل حساسیت صورت گرفته اند و مربوط به فایل اکسل آن می‌باشند.

همچنین در کد منظور از `Beginner` متصدی تازه کار، منظور از `Expert` متصدی کارشناس و منظور از `Technician` متصدی فنی است.

کد و باقی توضیحات در `main.py`

## ۲۰. تغییرات سیستم در فاز سوم

در این فاز تغییراتی در سیستم صورت گرفته است که لازم است آن‌ها را در کد خود اعمال کنیم. این تغییرات عبارت اند از:

- تغییر درصد کاربران VIP

هنگام ایجاد یک مشتری جدید با احتمال ۰.۴ ویژگی VIP او را (A1) را برابر با ۱ قرار می‌دهیم. (به جای ۰.۳)

- حذف کردن قابلیت تماس مجدد

در این صورت ویژگی انتخاب تماس مجدد (A2) بی تاثیر خواهد شد و دیگر در صورت بیشتر بودن طول صف از ۴ نفر هیچ کدام از مشتریان به صف تماس مجدد نخواهند رفت. در نتیجه صف تماس مجدد عادی و VIP نخواهیم داشت. همچنین متصدی تازه کار (Beginner) و متخصص (Expert) نیز در شیفت‌های دوم و سوم پس از صفر شدن صف‌های مشتریان (صف اول و دوم) به سراغ مشتریان تماس مجدد (صف سوم و چهارم) نخواهند رفت. پس فلوچارت‌های مربوط به این بخش تغییر خواهند کرد.

- حذف کردن اختلال شبکه

دیگر نیازی به تغییر وضعیت شبکه نیست و می‌توان پیشامدهای آغاز اختلال شبکه، پایان اختلال شبکه و تغییر ماه (که در آن روزی که شبکه اختلال دارد مشخص می‌شود) می‌توانند حذف شوند. همچنین از لیست پیشامدهای اولیه نیز باید پیشامد شروع اختلال شبکه و تغییر ماه حذف شوند. (البته کد به صورتی نوشته شده است که اگر فقط از لیست EFL‌های اولیه این موارد را حذف کنیم، خواسته‌ی ما برآورده می‌شود)

- تغییر فاصله‌ی ورود مشتریان

پارامتر توزیع ورود مشتریان تغییر می‌کند و برای تمام شیفت‌ها یکسان می‌شود. بنابراین دیگر نیازی به پیشامد تغییر شیفت نداریم و از لیست پیشامدهای اولیه می‌توانیم این مورد را حذف کنیم.

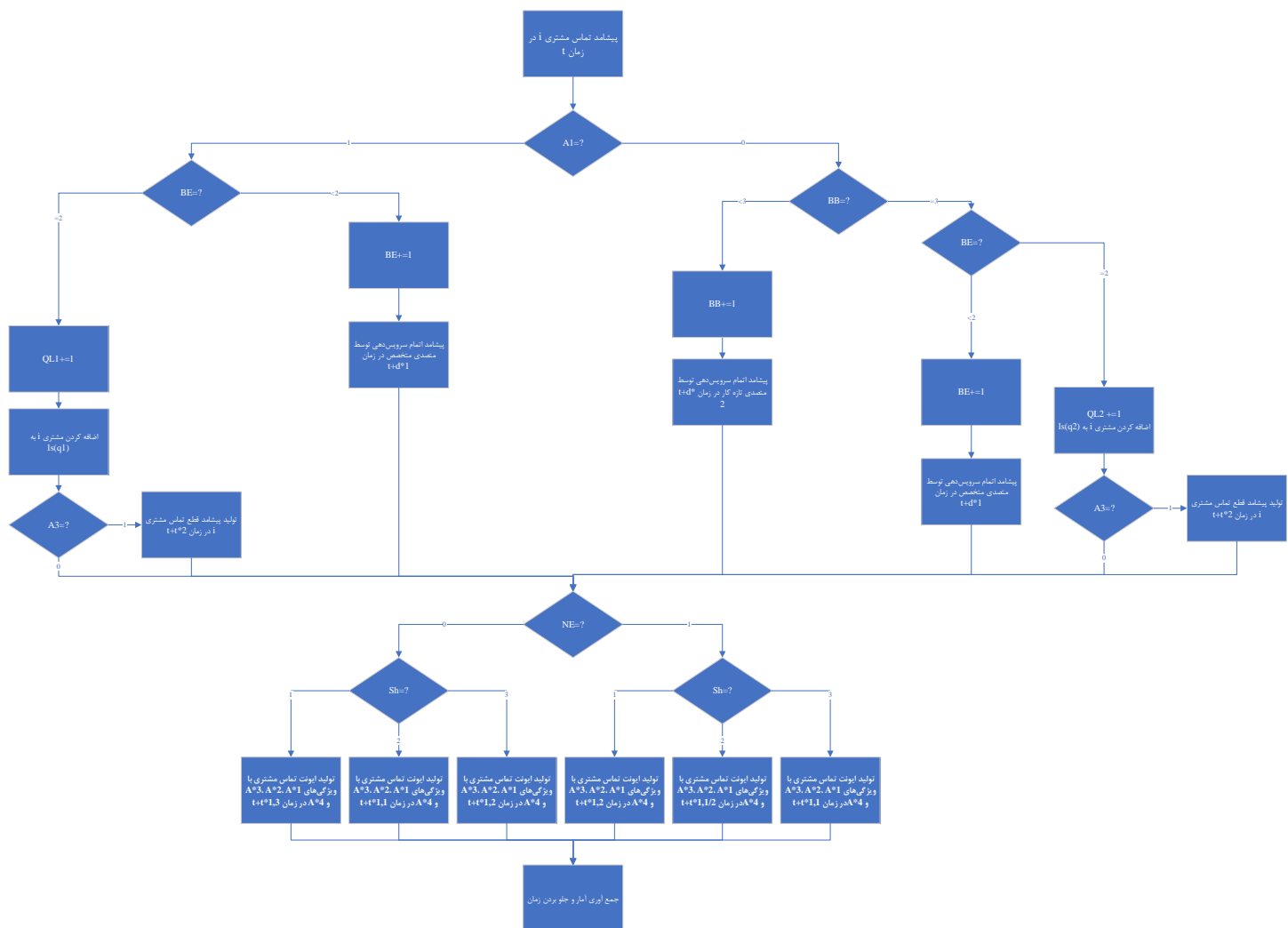
البته با توجه به مواردی که گفته شد، تابع پیشامدها و ویژگی‌های ذکر شده را در کد نیاز نداریم و فلوچارت‌های پیشامدها به صورت زیر است:



## ۲۱. تعریف پویای سیستم جدید (فاز سوم)

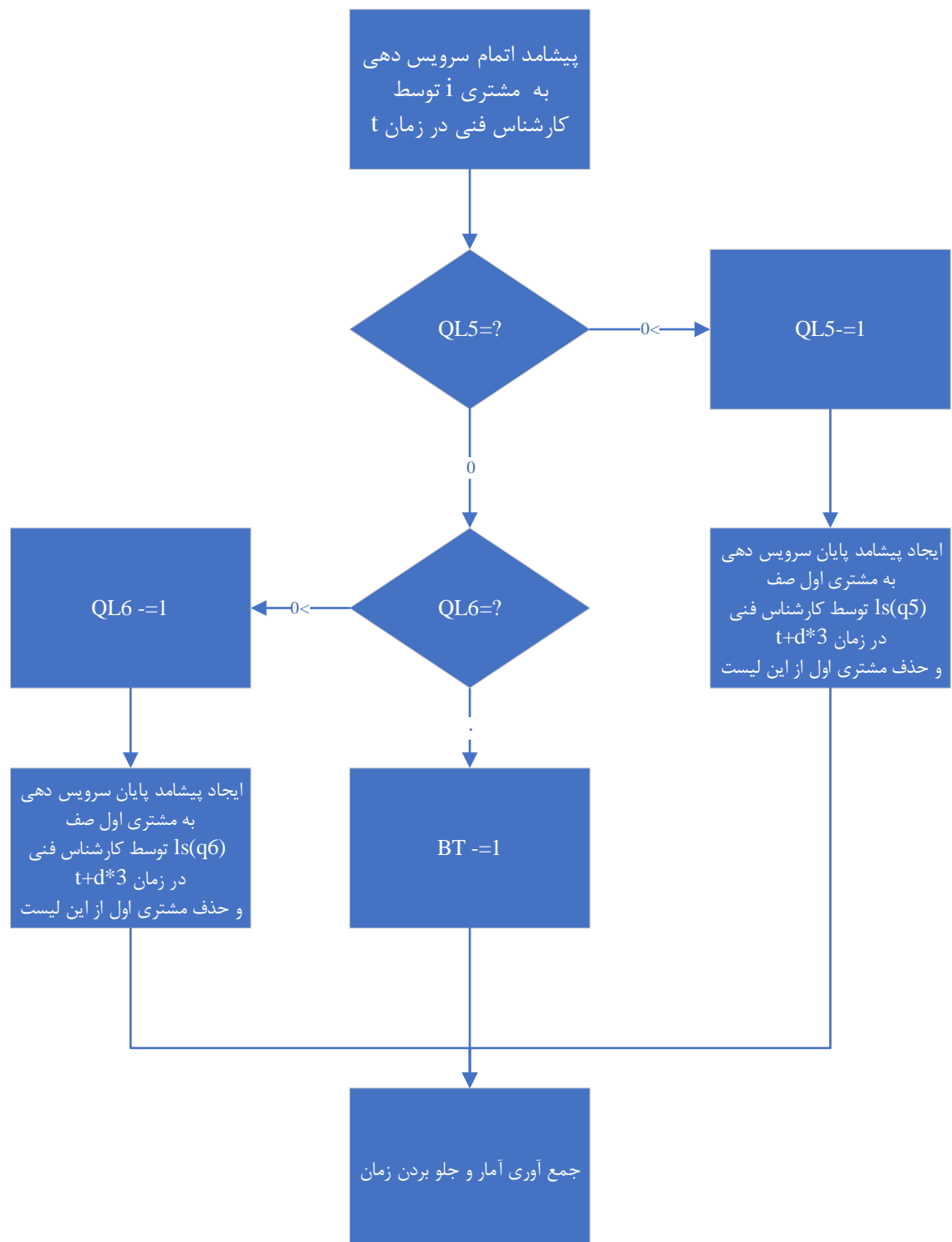
با توجه به اینکه دیگر اختلال شبکه نداریم، پیشامد شروع اختلال، پایان اختلال شبکه و تغییر ماه (که تنها کارایی آن مشخص کردن روز اختلال بود) دیگر بدون استفاده خواهند بود. همچنین چون دیگر فاصله‌ی بین ورود مشتریان در تمام شیفت‌ها یکسان است، نیازی به پیشامد تغییر شیفت نداریم. با توجه به تغییرات دیگر (حذف شدن تماس مجدد)، پیشامدها به شکل زیر خواهند بود.

پیشامد تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$ :



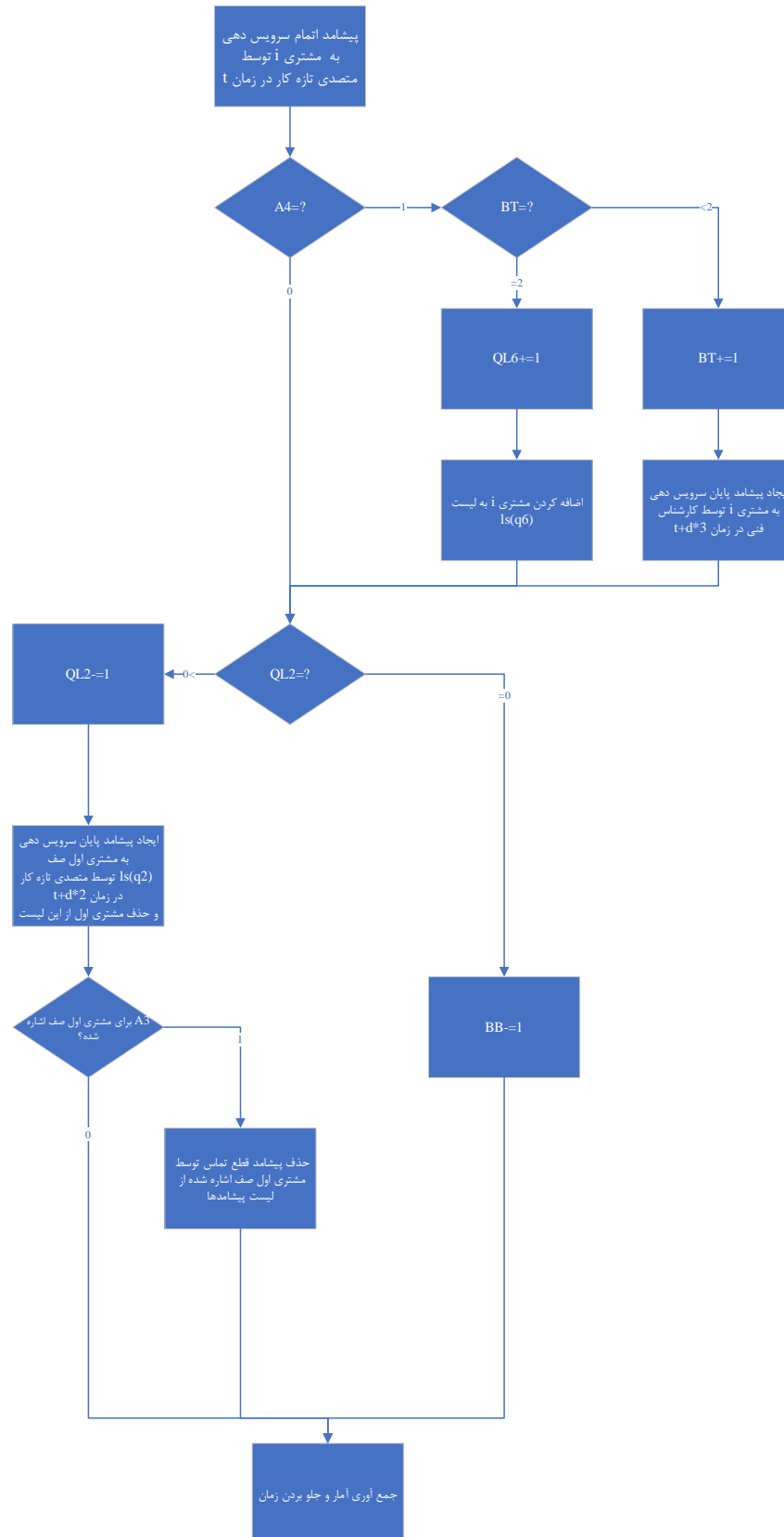
شکل ۲۳ - فلوچارت تماس مشتری i در زمان t در فاز سوم

پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط کارشناس فنی در زمان  $t$ :



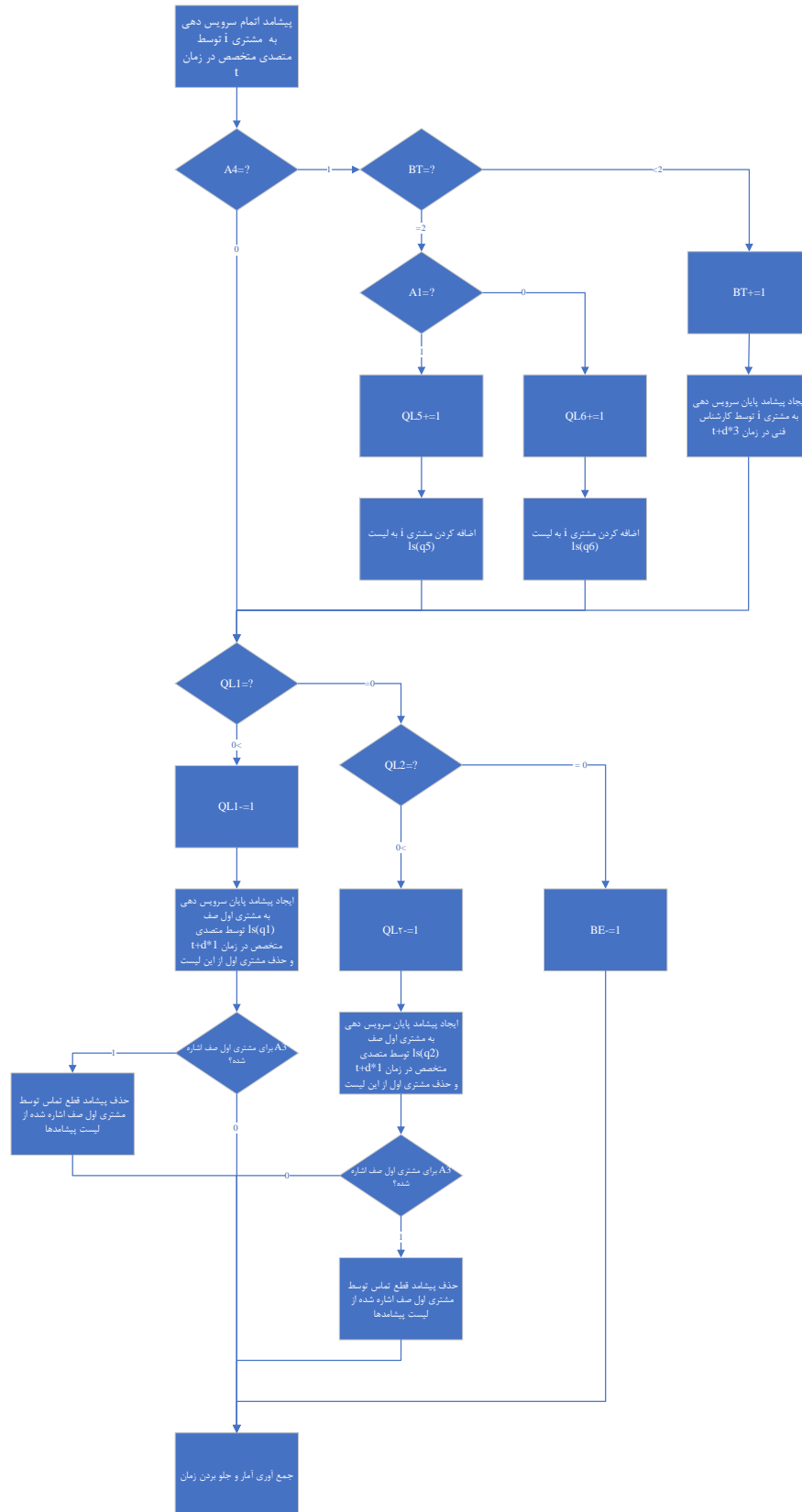
شکل ۲۴ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط کارشناس فنی در زمان  $t$  در فاز سوم

پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی تازه کار در زمان  $t$ :



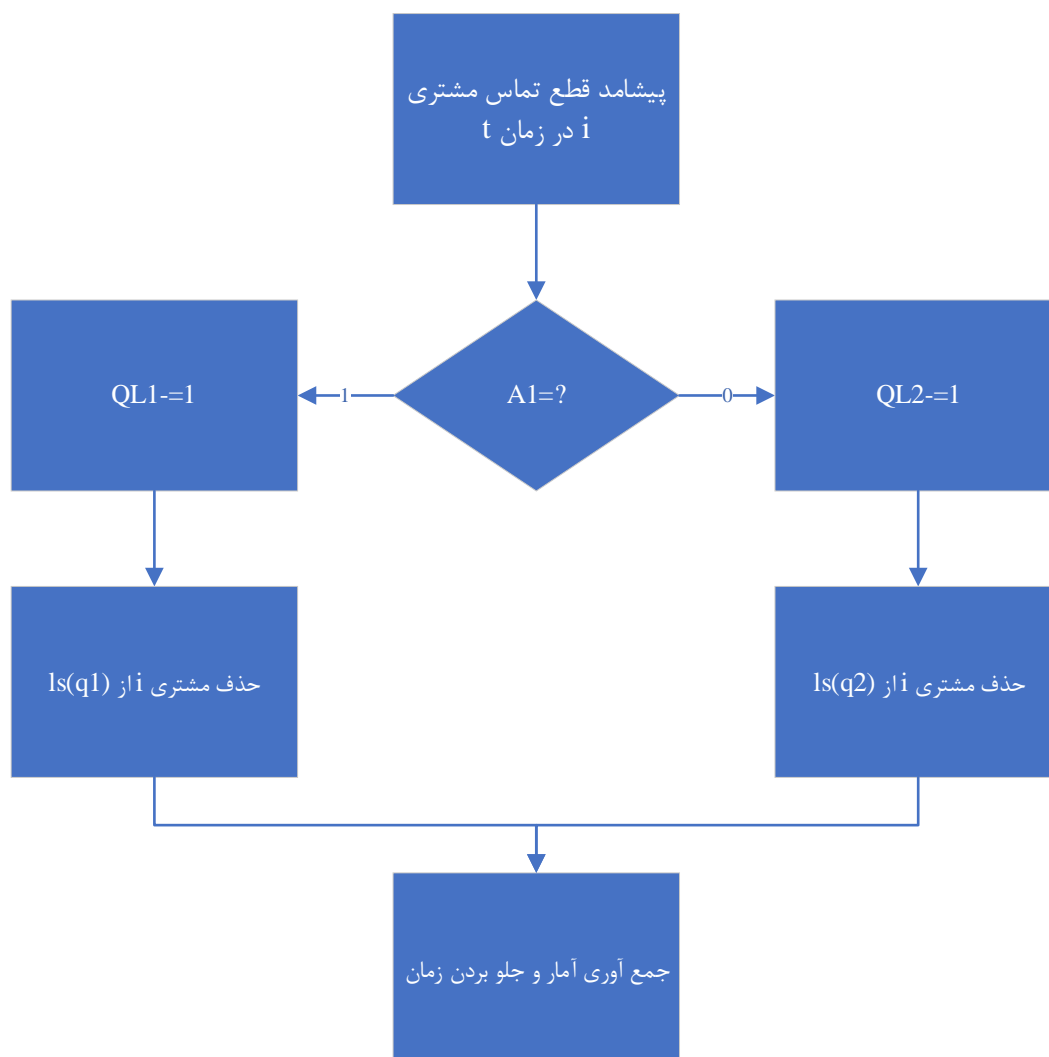
شکل ۲۵ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی تازه کار در زمان  $t$  در فاز سوم

پیشامد اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی متخصص در زمان  $t$ :



شکل ۲۶ - فلوچارت اتمام سرویس دهی به مشتری  $i$  توسط متصدی متخصص در زمان  $t$  در فاز سوم

پیشامد قطع تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$ :

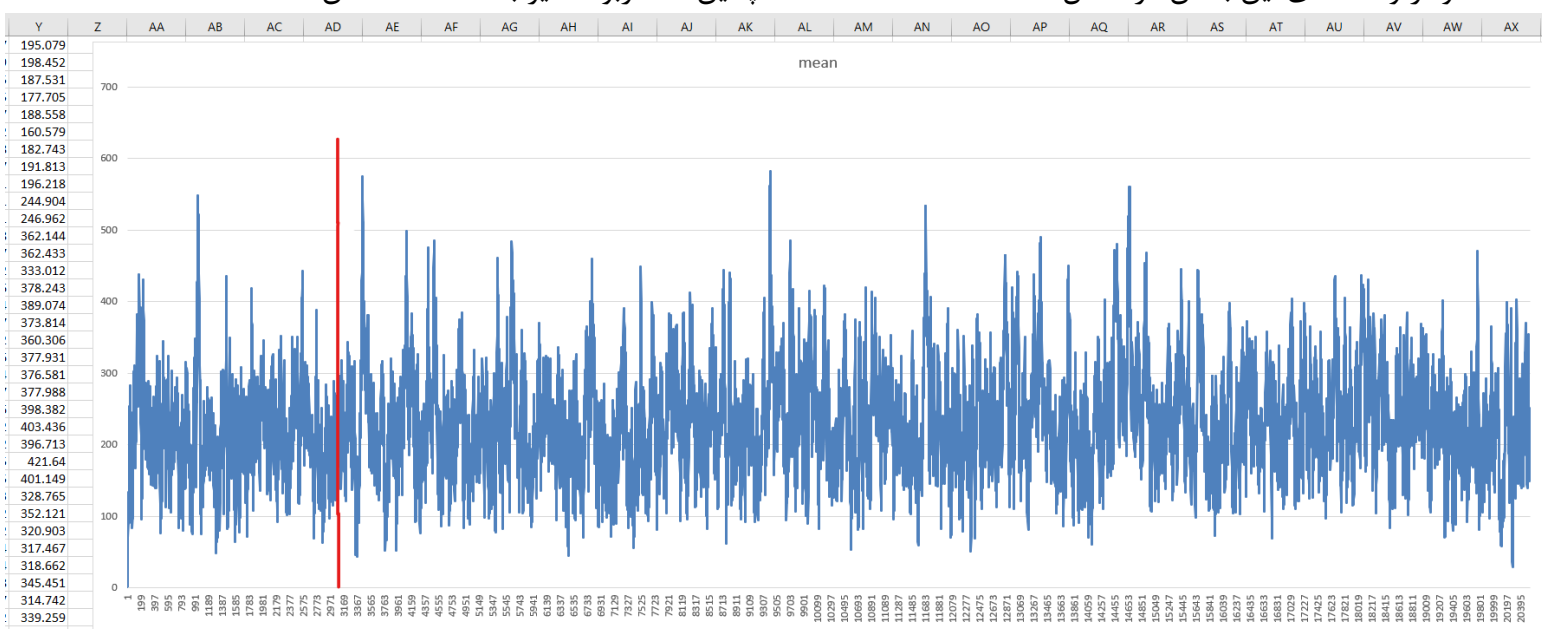


شکل ۲۷ - فلوچارت قطع تماس مشتری  $i$  در زمان  $t$  در فاز سوم

## ۲۲. تحلیل سرد و گرم سیستم

ابتدا شبیه سازی را ۲۰ بار برای ۳۰ روز انجام می دهیم و نمودار انتظار در صف مشتریان عادی را رسم می کنیم که نتیجه ی آن در ادامه آمده است. به توجه به نمودار می توان با تقریب خوبی گفت که پس از مشتری ۳۰۰۰ام سیستم گرم می شود و اگر داده های پس از مشتری ۳۰۰۰ام را بررسی کنیم می توانیم بر اساس حالت گرم سیستم تصمیم گیری کنیم. با توجه به اینکه در ۳۰ روز حدود ۲۰۰۰۰ مشتری وارد سیستم شده است و نیاز است برای تحلیل بخش گرم ما حداقل ۱۰ برابر بخش سرد باشد، باید شبیه سازی را تا مدتی انجام دهیم که حداقل ۳۳۰۰۰ مشتری وارد سیستم شود که اگر شبیه سازی را برای دو ماه انجام دهیم می توان گفت که حدود ۴۰۰۰۰ مشتری وارد سیستم می شود که خواسته ی ما را ارضا می کند. بنابراین شبیه سازی را در بخش های بعد برای دو ماه انجام می دهیم.

نمودار و داده های این بخش در اکسل cold-start آمده است. همچنین کد مربوطه نیز با کامنت مشخص شده است.



شکل ۲۸ - نمودار تحلیل سرد و گرم سیستم

در ادامه نیز تمام داده ها را با شرط اینکه از مشتری ۳۰۰۰ام عبور کرده باشیم جمع آوری می کنیم. در دیکشنری data مقدار Customer\_number را برای اینکه بدانیم چندمین مشتری وارد سیستم شده است و مقدار No3000\_time را برای ثبت زمان ورود مشتری ۳۰۰۰ام ایجاد می کنیم.

## ۲۳. مقایسه‌ی مدت زمان انتظار در صف عادی سیستم یک و دو

تفاوت سیستم یک و دو در میانگین توزیع زمان سرویس دهی توسط متصدی تازه کار و متخصص و همچنین تعداد متصدی تازه کار است که این متغیرها به صورت ورودی به تابع simulation داده می‌شوند. برای هر کدام از سیستم‌ها به صورت مستقل، ۵۰ بار اجرا می‌شود و میانگین مدت زمان انتظار در صف مشتریان عادی در اکسل independent\_sampling ذخیره می‌شوند. همانطور که در فایل مشخص است این عدد برای سیستم اول برابر با ۲۳۴.۳۸ ثانیه و برای سیستم دوم برابر با ۲۸۳.۵۴ ثانیه است. با ایجاد آماره‌ی آزمون و محاسبه‌ی فاصله‌ی اطمینان اختلاف دو سیستم که در تصویر زیر نیز آمده است مشاهده می‌شود که فاصله‌ی اطمینان به طور کامل در بخش منفی قرار دارد بنابراین نمی‌توان این فرض که مدت زمان انتظار در صف مشتریان عادی سیستم اول کمتر از سیستم دوم است را رد کرد. و اگر بخواهیم بر اساس این معیار تصمیم‌گیری کنیم، سیستم یک وضعیت بهتری نسبت به سیستم دوم دارد.

	Ybar1	234.38
	Ybar2	283.54
	Ybar1-Ybar2	-49.16
	Var Ybar1	107.58
	Var Ybar2	138.71
	Se(Ybar1-Ybar2)	2.219444
	degree of freedom	96.45895
	rounded DoF	96
	t	1.984984
confidence interval	a-	-53.5621
	a+	-44.751

شکل ۲۹ - محاسبه فاصله اطمینان تفاوت مدت زمان انتظار دو سیستم

همچنین با توجه به اینکه اختلاف دو سیستم زیاد است و شبیه سازی اول با تعداد تکرار بالا (۵۰ بار) صورت گرفته است، نیازی به بدست آوردن فاصله اطمینان از روش CRN نیست و می‌توان با اطمینان بالایی از کمتر بودن میانگین انتظار در صف مشتریان عادی صحبت کرد.

## ۲۴. ارزیابی برخی معیارهای سیستم یک و دو

حال علاوه بر مدت انتظار مشتریان در صف عادی، مدت انتظار مشتریان در صف ویژه، کارایی متصدیان تازه کار و متخصص و درصد مشتریان عادی و ویژه که تماس خود را قطع می‌کنند و بیشینه‌ی طول صف مشتریان عادی و ویژه برای دو سیستم محاسبه شده است که در فایل independent\_sampling\_full\_version آمده است. همچنین با توجه به اینکه در تعداد کارشناسان فنی و زمان خدمت‌دهی آنان تغییری ایجاد نشده و در هر دو سیستم توزیع ورود مشتریان و درصد مشتریانی که نیاز به بررسی فنی دارند ثابت است، این مورد متوجه تغییر آنچنانی نخواهد بود و موارد مربوط به آن را بررسی نمی‌کنیم. (توجه بفرمایید که در کد و فایل ما اندیس یک برای مشتریان ویژه و اندیس دو برای مشتریان عادی است.)

با توجه به فایل اکسل مذکور، فاصله اطمینان‌های زیر برای تفاوت میانگین سیستم یک از دو بدست می‌آید. با توجه به داده‌های زیر نمی‌توان فرض‌های زیر را رد کرد:

- میانگین زمان انتظار در صف مشتریان ویژه در سیستم دوم کمتر است
- میانگین زمان انتظار در صف مشتریان عادی در سیستم اول کمتر است
- کارایی هر متصدی تازه کار در سیستم دوم بیشتر است
- کارایی هر متصدی متخصص در سیستم دوم بیشتر است
- در سیستم اول درصد قطع تماس توسط مشتریان ویژه بیشتر است.
- در سیستم دوم درصد قطع تماس توسط مشتریان نرمال بیشتر است.
- بیشینه طول صف مشتریان ویژه در سیستم اول بیشتر است.

22.942	25.353	-53.539	-43.460	-0.015	-0.012	-0.008	-0.004	0.001	0.002	-0.004	-0.003	0.220	1.660	-2.998	0.638
average waiting time in Q1		average waiting time in Q2		Beginner Efficiency		Expert Efficiency		end call VIP		end call Normal		max QL1		max QL2	

شکل ۳۰ - فاصله‌ی اطمینان برای اختلاف برخی معیارها در سیستم اول و دوم

با توجه به فاصله‌ی اطمینان‌هایی که بدست آمد و فرض‌هایی که گفته شد می‌توان نتایج زیر را گرفت:

مشتریان ویژه تنها از متصدی متخصص خدمت می‌گیرد و اولویت پاسخگویی آنان نیز مشتریان ویژه هستند. بنابراین وقتی تعداد متصدیان تازه کار ثابت می‌ماند و مدت زمان خدمت‌دهی آنان کاهش می‌یابد انتظار داریم که میانگین مدت زمان انتظار مشتریان ویژه در صف، درصد قطع تماس مشتریان ویژه و بیشینه طول صف مشتریان ویژه کاهش بیابد که فواصل اطمینان بالا همین نتیجه را نشان می‌دهند.

از طرف دیگر تعداد متصدیان تازه کار ۳۳ درصد کاهش یافته اما زمان خدمت‌دهی آن‌ها ۱۷ درصد کاهش یافته است. این مورد نشان می‌دهد که خدمت‌دهی به مشتریان عادی با کاهش کیفیت و افزایش زمان همراه خواهد بود. البته اینکه بخشی از بار پاسخگویی به مشتریان عادی توسط متصدیان متخصص انجام خواهد شد که با توجه به کاهش زمان خدمت‌دهی (و ثابت ماندن تعداد متصدیان) وقت بیکاری بیشتری خواهند داشت و بیشتر می‌توانند به مشتریان عادی خدمت‌دهی کنند. بنابراین مانند بخش قبل این مورد با نمی‌توان با اطمینان مورد بحث قرار داد و باید نتایج آزمون آماری را مشاهده کرد که



طبق آن در سیستم جدید مشتریان عادی بیشتر در صف منتظر می‌مانند و درصد بیشتری از آنان تماس را قطع می‌کنند اما در مورد بیشینه طول صف مشتریان عادی نمی‌توان نظر داد.

برای نتیجه‌گیری می‌توان گفت که با این کار رضایت مشتریان ویژه افزایش خواهد یافت اما بیش از آن رضایت مشتریان عادی کاهش می‌یابد. اگر تمرکز شرکت بر روی نگه داشتن مشتریان وفادار و قدیمی (ویژه) باشد این کار منطقی است اما با توجه به اینکه میزان کاهش زمان خدمت‌دهی به مشتریان ویژه کمتر از افزایش زمان خدمت‌دهی به مشتریان عادی است و درصد مشتریان عادی (۶۰) بیشتر از مشتریان ویژه (۴۰) است، بهتر است از همان سیستم اول استفاده کنیم. در این صورت اکثریت جمعیت مشتریان حس رضایت بهتری نسبت به سیستم دیگر (۲) دارند و همچنین اگر رضایت مشتریان نو ورود به سیستم کاهش یابد، میزان جذب مشتری به مرور کاهش قابل توجهی خواهد داشت و مشتریانی که تازه وارد سیستم می‌شوند نیز پس از مدتی در پی نارضایتی از سیستم می‌روند و نمی‌توان آن‌ها را به مشتری ویژه تبدیل کرد. بنابراین به نظر می‌رسد انجام این تغییر در سیستم کار مناسبی نیست و در نهایت پیشنهاد به مدیریت این است که این کار را انجام ندهد، (مگر اینکه شرایط دیگری را در سیستم ایجاد کند که در فرض مساله نیامده است).

## ۲۵. سه پیشنهاد برای بهبود سیستم مرکز تماس

در این بخش سه پیشنهاد برای بهبود مرکز تماس داده می‌شود که البته این پیشنهادات باید امکان‌سنجی شده و پس از آن انجام شوند.

با توجه به صورت سوال که به ما نشان می‌دهد شرکت تمایل دارد درصد مشتریان ویژه را افزایش دهد، نیاز داریم تا مشتریان عادی را راضی‌تر کنیم تا تمایل آن‌ها نسبت به باقی ماندن در شرکت افزایش یابد. برای این کار باید میانگین مدت زمان در سیستم بودن مشتریان عادی کاهش یابد. برای اینکار می‌توان مدت زمان خدمت‌دهی متصدیان (تازه کار یا متخصص) و یا تعداد آن‌ها را افزایش داد. در حالت حاضر میانگین مدت زمان انتظار در صف مشتریان عادی ۲۳۳ ثانیه و برای مشتریان ویژه ۱۳۸ ثانیه است. به علاوه میانگین زمان خدمت‌رسانی توسط متصدی تازه کار برابر با ۴۲۰ ثانیه و این مقدار برای متصدی متخصص برابر با ۱۸۰ ثانیه است. علاوه بر این موارد، اگر مشتری نیاز به بررسی فنی داشته باشد، مشتری ویژه در اولویت خواهد بود. بنابراین زمان در سیستم بودن مشتری عادی بسیار بیشتر از مشتری ویژه بیشتر است و بهتر است برای جلوگیری از ریزش مشتریان نو ورود، این اختلاف را کاهش دهیم. برای این کار بهتر است:

۱. بدون کم کردن تعداد متصدیان تازه کار، برای آنان جهت خدمت‌دهی با زمان کمتر، دوره‌ی آموزشی برگزار کنیم.

۲. بدون برگزاری دوره‌ی آموزشی، تعداد متصدی تازه کار را یک نفر افزایش دهیم.

در ادامه همچنین با توجه به داده‌های فاز دوم، متوجه این قضیه می‌شویم که زمان در سیستم بودن مشتریانی که نیاز فنی دارند تفاوت بسیار زیادی با مشتریانی دارد که نیاز فنی ندارند. دلیل این مشکل مدت زمان خدمت‌رسانی بالا توسط کارشناس فنی است. این در حالی است که میانگین طول صف فنی مشتریان عادی و ویژه از صف اول و دوم کوتاه‌تر است. بنابراین می‌توان گفت که زمانی که مشتریان در صف این بخش سپری می‌کنند کم است اما زمان زیادی صرف خدمت‌رسانی می‌شود. بنابراین افزایش تعداد کارشناسان فنی مشکل زیادی را حل نمی‌کند و باید با کاهش زمان خدمت‌دهی به حل این مشکل کمک کنیم. بنابراین پیشنهاد سوم را به شکل زیر مطرح می‌کنیم:

۳. زمان خدمت‌دهی توسط کارشناسان فنی را از طریق برگزاری دوره و یا ایجاد داشبردهایی برای کارشناس و یا

روش‌های دیگر کاهش دهیم. همچنین اگر زمان کاهش یافته به حد قابل قبولی برسد، با توجه به اینکه تنها درصدی از مشتریان به کارشناس فنی نیاز دارند، می‌توانیم کارشناسان این بخش را در آینده به یک نفر کاهش دهیم. (در صورتی که کاهش زمان خدمت‌دهی قابل توجه باشد).