

بنا خدا



بررسی سیستم صف با چند خدمت دهنده در بانک صادرات  
ایران (شعبه مصلی - تبریز) به منظور یافتن متوسط طول  
صف، متوسط زمان انتظار مشتریان و افزایش بهره‌وری

### « پروژه درسی شبیه‌سازی کامپیوتری پیشرفته »

استاد محترم:

جناب آقای دکتر پرهام عظیمی

ارائه دهنده:

سیاوش حکمت (880680680)

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری

بهار و تابستان 89

با تقدیم تشکر فراوان به محضر استاد گرامی، جناب آقای دکتر پرهام عظیمی؛

به دلیل تدریس پرمحتوا و راهنمایی‌های سرشار از تجارب ارزشمند ایشان.

## فهرست مطالب

---

1.	مقدمه	4
2.	صورت‌بندی مسأله	4
3.	مدلسازی مفهومی مسأله	5
4.	گردآوری داده‌ها	6
1-4.	نرخ ورود مشتریان عادی	6
2-4.	نرخ ورود مشتریان ویژه	7
3-4.	نرخ ترک صف در بین مشتریان عادی	8
4-4.	نرخ خدمت‌دهی به مشتریان عادی	8
5-4.	نرخ خدمت‌دهی به مشتریان ویژه	9
6-4.	نرخ پرداختن به کارهای متفرقه توسط خدمت‌دهندگان	11
7-4.	نرخ تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به هر باجه	12
5.	مدلسازی کاربردی مسأله با نرم‌افزار ED	13
6.	آزمایش مدل‌های شبیه‌سازی و تعیین اعتبار آنها	15
7.	تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از مدل شبیه‌سازی	20
8.	ارائه راه حل‌ها و مقایسه و ارزیابی طرح‌های مختلف از سیستم	23
پیوست 1.	ارقام گردآوری‌شده برای زمانهای بین ورود مشتریان عادی	29
پیوست 2.	ارقام گردآوری‌شده برای زمانهای بین ورود مشتریان ویژه	29
پیوست 3.	ارقام گردآوری‌شده برای نرخ ترک صف	29
پیوست 4.	ارقام گردآوری‌شده برای خدمت‌دهی به مشتریان عادی	30
پیوست 5.	ارقام گردآوری‌شده برای خدمت‌دهی به مشتریان خاص	30
پیوست 6.	ارقام گردآوری‌شده برای نرخ پرداختن به کارهای متفرقه توسط خدمت‌دهندگان ...	31
پیوست 7.	ارقام گردآوری‌شده برای نرخ تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به هر خدمت‌دهنده .	32

## 1. مقدمه

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

همچنان که یک سیستم با گذشت زمان تکوین می‌یابد، رفتار آن با ایجاد مدل شبیه‌سازی بررسی می‌شود. این مدل معمولاً به شکل مجموعه‌ای از فرض‌های مربوط به عملکرد سیستم است. این فرض-ها در چارچوب رابطه‌ای ریاضی، منطقی و نمادین بین نهادها یا اهداف مورد نظر سیستم بیان می‌شود. با ایجاد و معتبرسازی مدل، می‌توان آن را برای تفحص درباره پرسش‌های بسیار گوناگونی از نوع «چه شود اگر» در مورد سیستم واقعی به کار برد. تغییرات انجام پذیر در سیستم را می‌توان ابتدا شبیه‌سازی کرد تا تأثیرشان بر عملکرد سیستم پیش‌بینی شود. شبیه‌سازی به منظور بررسی سیستم‌های در دست طراحی نیز پیش از ایجاد آنها کاربردپذیر است. پس، ایجاد مدل شبیه‌سازی، هم به منزله ابزار تحلیل برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات سیستم‌های موجود و هم به عنوان ابزار طراحی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم جدید در مجموعه‌های گوناگون شرایط کاربردپذیر است.

## 2. صورت‌بندی مسأله

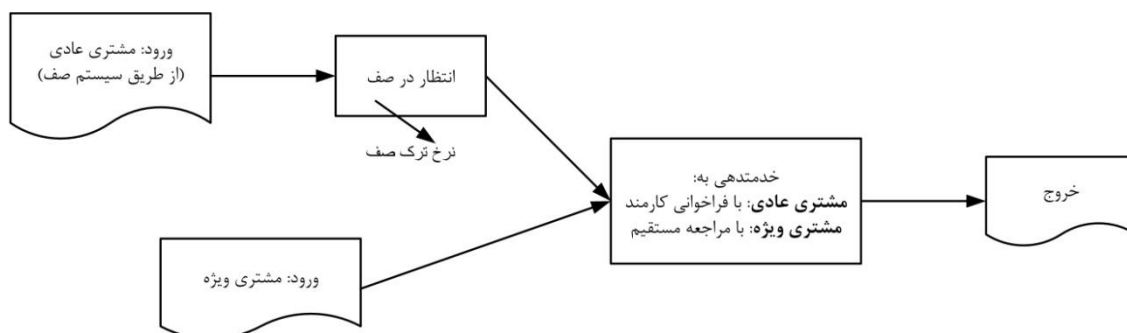
سیستم مورد مطالعه در این تحقیق شامل یک شعبه ممتاز بانکی است که روزانه تعدادی کارمند در آن مشغول خدمت‌دهی می‌شوند و شماری از مشتریان آن که متقاضی خدمات عمومی بانکی هستند از طریق یک سیستم نوبت‌دهی وارد شعبه می‌شوند و در قالب یک صف واحد منتظر خدمت می‌مانند. بدیهی است که این شعبه در حوزه خدمات عمومی خود تعدادی مشتریان ویژه نیز دارد که حاضر به انتظار در صف خدمت‌دهی نیستند و به طور مستقیم به کارمندان مشغول در این قسمت از سیستم مراجعه می‌نمایند و در فرآیند خدمت‌گیری از اولویت بالاتری برخوردارند.

ریاست این شعبه مدتی است که با شکایت برخی از مشتریان در خصوص طولانی بودن مدت انتظار در صف و عدم رضایت از عملکرد شعبه مواجه شده است و در صدد بررسی صحت مسأله و حل آن در صورت لزوم برآمده است. به دلیل وجود پیچیدگی‌هایی در این سیستم از قبیل وجود الگوهای متفاوتی از ورود مشتریان، تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به دسته خاصی از کارمندان و اشتغال مکرر

کارمندان به برخی کارهای متفرقه، به نظر نمی‌رسد استفاده از روشهای ریاضی تئوری صف در این مسأله کارساز باشد و همین امر مسبب استفاده از شبیه‌سازی برای بررسی این مسأله و ارائه راه حل آن شده است.

### 3. مدل‌سازی مفهومی مسأله

تحقیق حاضر درباره شبیه‌سازی سیستم مبتنی بر پیشامدهای گسسته است. شبیه‌سازی سیستم-های گسسته پیشامد عبارت است از مدل‌سازی سیستم‌هایی که متغیر حالت در آنها تنها در مجموعه-ای از مقاطع گسسته زمان تغییر می‌کند. در تشریح اجزای این سیستم شبیه‌سازی باید گفت که نهادهای آن عبارتند از خدمت‌دهندگان (کارمندان بانک) و مشتریان عادی و ویژه بانک. نهاد *(Entity)* عنصریست در سیستم که برای تجزیه و تحلیل مهم است. هر نهادی یک سری خصیصه *(Attribute)* دارد که برای تجزیه و تحلیل مهم است. از جمله خصایص کارمندان در سیستم این بانک می‌توان به اولویت وظیفه‌ای آنان در خدمت‌دهی به مشتریان ویژه و میزان تمایلشان به انجام کارهای متفرقه یا استراحت اشاره کرد. به علاوه، میزان ترک صف در بین مشتریان عادی و میزان تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به برخی از کارمندان بانک، از جمله سایر خصایص مهم در نهادهای این سیستم است که باید در مدل‌سازی مسأله به آن توجه شود. فعالیت *(Activity)* انجام شده در این سیستم نیز همان خدمت‌دهی است که مشترک در بین دو نهاد کارمند و مشتری است. وضعیت *(State)* سیستم در هر لحظه نیز توسط طول صف‌ها، بیکار یا مشغول بودن کارمندان و در صورت مشغول بودن آنان خدمت‌دهی به مشتریان ویژه یا عادی، چه ساعتی از روز و چه روزی از ماه بودن تعیین می‌شود. مدل ذهنی این سیستم در شکل 1 قابل مشاهده است.



شکل 1. نمودار ارتباطی مدل ذهنی سیستم

### نکات حائز اهمیت در مدل مفهومی مسئله

**3-1.** یک نکته حائز اهمیت در این سیستم که در جریان مشاهدات و نیز گفتگو با کارمندان شعبه حاصل شده است این است که شعبه در روزهای 5، 10، 15، 20 و 25 هر ماه به دلیل وجود فرهنگ رایج بازار مبنی بر استفاده از ایام سراسرست و رُند برای نقل و انتقالات وجوه و پیگیری امور بانکی، شلوغ‌تر از ایام عادی است که در این تحقیق مقدار آن 10% در نظر گرفته شده است. در ضمن، در ایام آخر هر ماه (یعنی ایام 26 ماه و بعد از آن و 1 و 2 ابتدای ماه)، سیستم شلوغ‌ترین اوقات خود را تجربه می‌کند که در این تحقیق مقدار این شلوغی 20% بیشتر از ایام عادی لحاظ شده است. به علاوه، در ساعات 7 تا 9 هر روز، سیستم 10% خلوت‌تر از ساعات بعدی در نظر گرفته شده است. میزان این نوسانات تماماً در نرخ ورود مشتریان لحاظ شده است. برای یادآوری متذکر می‌شویم که ساعات کار این شعبه 7 تا 14 هر روز است که از ساعت 13:30 به بعد از پذیرش مشتریان جدید خودداری می‌شود و تنها به خدمتدهی به مشتریان باقیمانده پرداخته می‌شود.

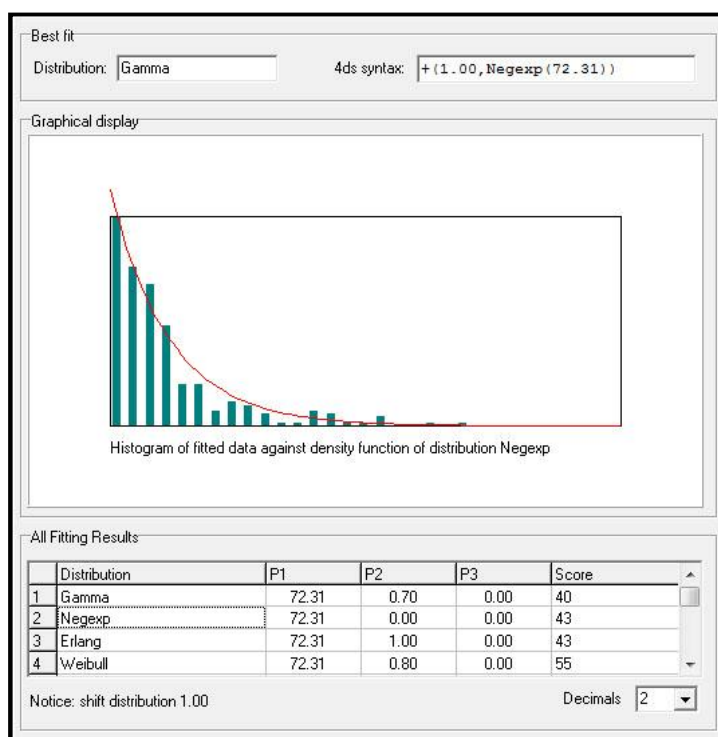
**3-2.** نکته دوم آن است که در این شعبه تعداد زیادی خدمت‌دهنده وجود دارد که تنها 8 تای آنها مشغول خدمتدهی در حوزه خدمات عمومی به مشتریان عادی و ویژه هستند و از بین آنها دو بچه 2 و 16 فقط در اوقات شلوغ انتها و ابتدای ماه به خدمتدهی به مشتریان عادی می‌پردازند.

### 4. گردآوری داده‌ها

**4-1. نرخ ورود مشتریان عادی.** برای شبیه‌سازی این سیستم ابتدا به روش معمول آن، یعنی مشاهده و زمان‌سنجی سیستم عمل شده است تا به وسیله آن پارامترها و توزیع‌های صف مشخص شوند. به این ترتیب بر اساس داده‌هایی که شرح کامل آنها در پیوست 1 آمده است نرخ ورود مشتریان عادی به سیستم صف به طور متوسط در تمامی ساعات کاری، به صورت شکل 2 برآورد شده است، که به دلیل انطباق بیشتر توزیع نمایی منفی بر ماهیت این فرآیند، آنرا نمایی منفی با میانگین 72 ثانیه ( $\lambda = \frac{1}{72}$ ) در نظر می‌گیریم. اما این مقدار به صورت متوسط و برای کل ساعات روز و نیز کل ایام ماه برآورد شده است و با توجه به تغییرپذیری محسوس ورود افراد در ساعات صبح و نیز در برخی ایام مثل روزهای نزدیک به انتهای ماه، در مدل خود میانگین آنرا در مواقع مختلف با ضرایب متعددی به شرح جدول 1 و با نوسان حداکثر 20 درصدی لحاظ می‌کنیم.

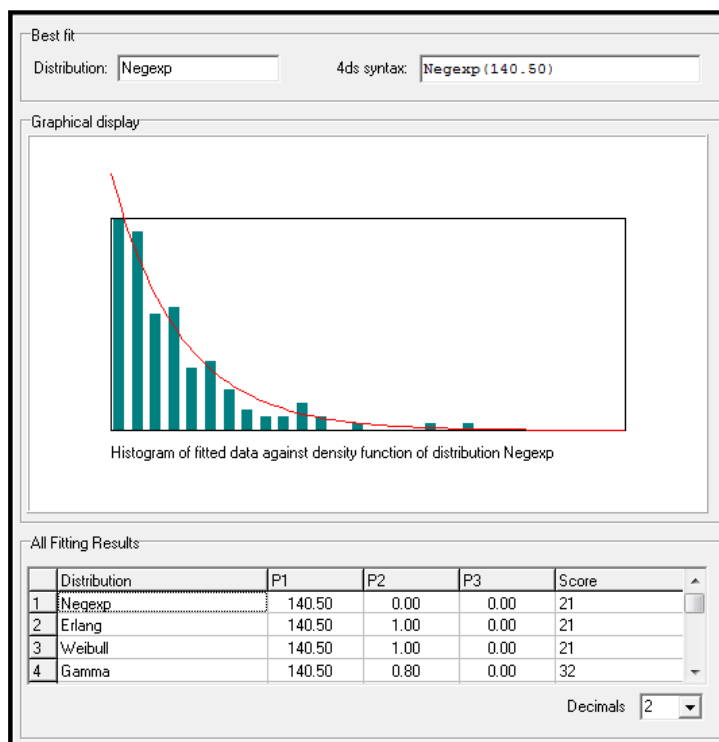
جدول 1. ضریب پارامتر ورود ارزیابی شده برای ساعات و ایام مختلف

روز	ساعت 7 الی 9			9 الی 14		
	ایام 26 الی 31، 1 و 2 ماه	ایام 5، 10، 15، 20 و 25 ماه	سایر ایام	ایام 5، 10، 15، 20 و 25 ماه	ایام 26 الی 31، 1 و 2 ماه	سایر ایام
ضریب میانگین	1	1.1	1.2	1	0.9	1.1



شکل 2. هیستوگرام و توزیع‌های برآورد شده برای ورود مشتریان عادی

**4-2. نرخ ورود مشتریان ویژه.** به علاوه، بر اساس داده‌های ارائه شده در پیوست 2، مراجعه مشتریان ویژه به سیستم دارای توزیع نمایی منفی با میانگین 140 ثانیه به شرح شکل 3 برآورد شده است که نوسان آن نیز با توجه به ضرایب جدول 1 در زمانهای مختلف لحاظ می‌شود.



شکل 3. هیستوگرام و توزیع‌های برآوردشده برای ورود مشتریان ویژه

#### 3-4. نرخ ترک صف در بین مشتریان عادی. علاوه بر توزیع‌های ورود مشتریان به سیستم

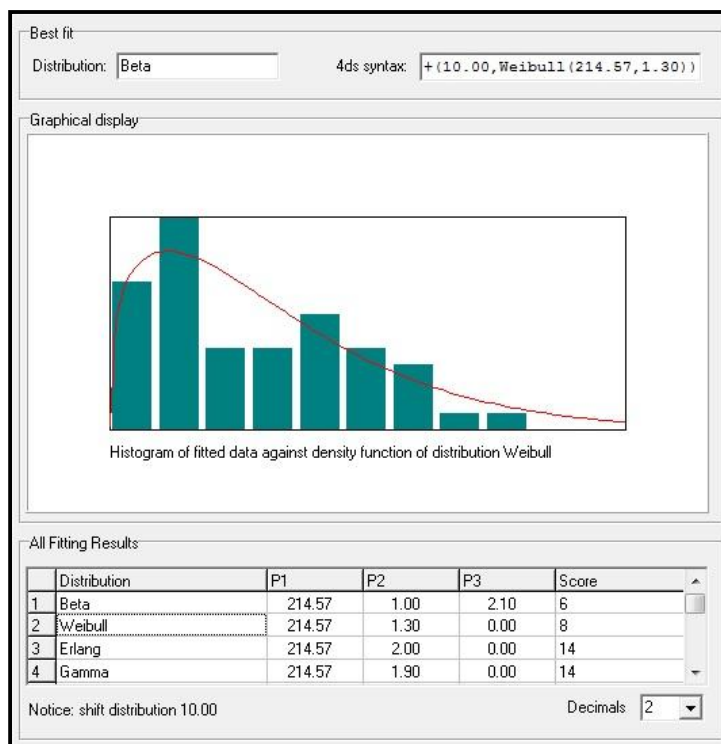
که از طریق فرآیند گردآوری داده‌ها مشخص می‌شود، خصایصی در سیستم وجود دارد که برای تعیین میزان دقیق تاثیرشان بر سیستم باید به گردآوری داده برای آنها پرداخت. یکی از این خصایص به میزان ترک صف در بین مشتریان عادی مربوط است که بر اساس نمونه‌گیریهای انجام یافته، مقدار متوسط 20% برای آن برآورد شده است، به عبارت دیگر، هر مشتری عادی با احتمال 0.2 صف را ترک خواهد کرد و با احتمال 0.8 در صف باقی خواهد ماند. شیوه اندازه‌گیری این پارامتر بدین گونه است که در طول مدت نمونه‌گیری از خدمتدهی سرورها، تعداد فراخوانی‌هایی که منجر به مراجعه هیچ مشتری نمی‌شد ثبت و مقدار متوسط آن محاسبه شده است. داده‌های اولیه آن در پیوست 3 ارائه شده است.

#### 4-4. نرخ خدمتدهی به مشتریان عادی. بر اساس مشاهدات انجام‌یافته، خدمت‌دهندگان به

سه دسته تقسیم شده‌اند که نرخ و توزیع خدمتدهی در بین سرورهای هر دسته، کم و بیش مشابه هم ارزیابی شده‌اند. خدمت‌دهنده باجه 3 در دسته اول قرار دارد و مطابق شکل 4، توزیع انتخاب شده برای آن ویبول با میانگین 215 و پارامتر شکل 1.30 می‌باشد. مطابق شکل 5، خدمت‌دهنده باجه 7 با توزیع نمایی منفی با میانگین 192 ثانیه در دسته دوم قرار دارد. و بالاخره دسته سوم

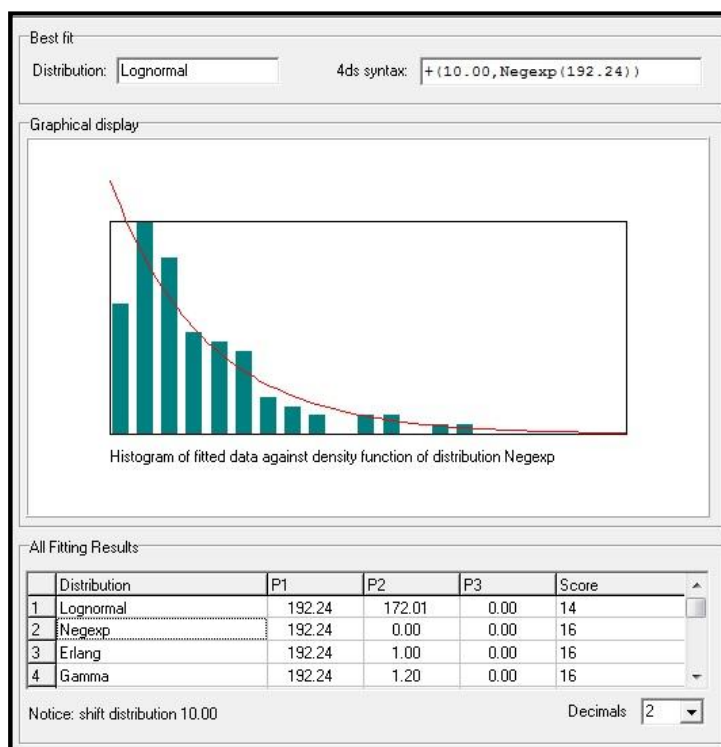


مشمول بر خدمت‌دهندگان باجه‌های 2، 5، 9، 10، 12 و 16 می‌باشد که توزیع برآوردشده برای این دسته مطابق شکل 6، توزیع ارلنگ مرتبه  $k = 2$  با میانگین 220 ثانیه است. داده‌های مرتبط با این قسمت در پیوست 4 ارائه شده است.

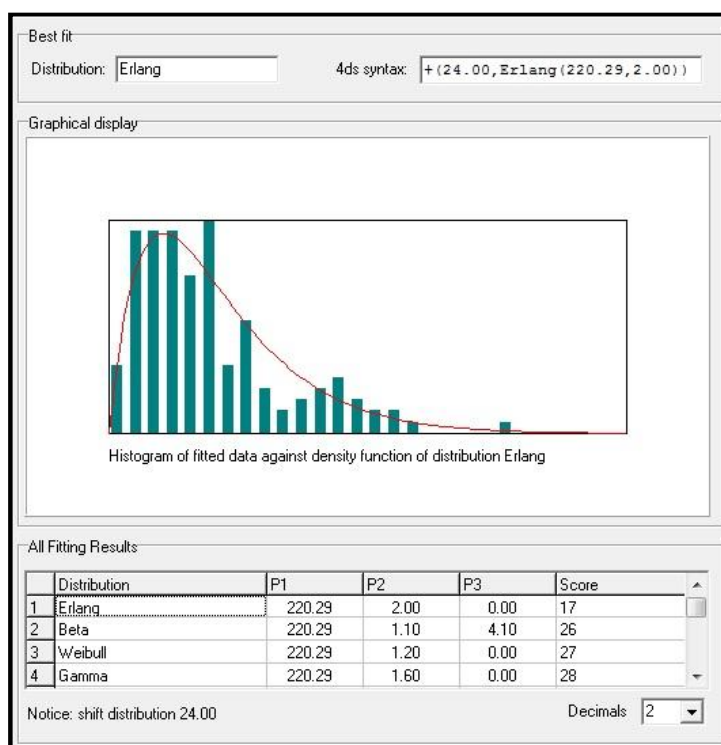


شکل 4. هیستوگرام و توزیع‌های برآوردشده برای خدمت‌دهی باجه 3

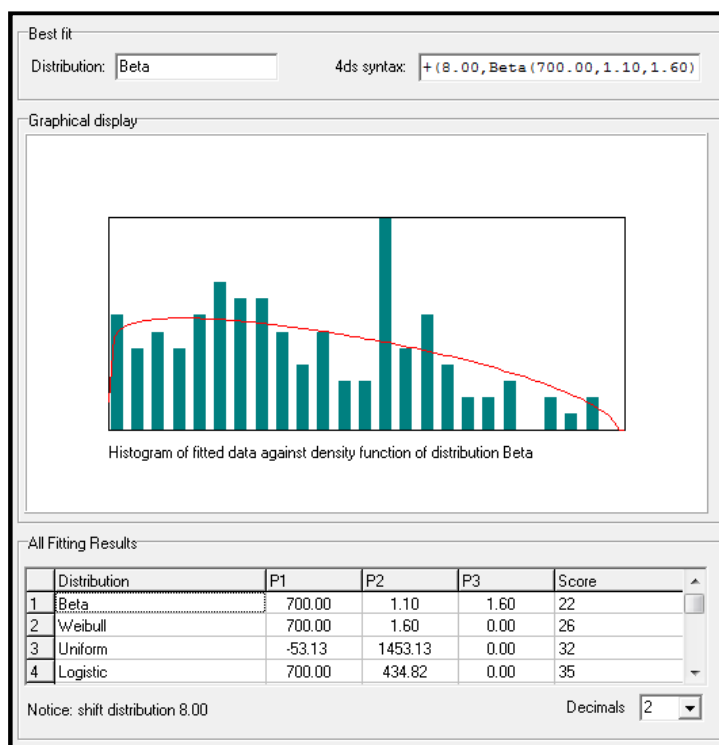
**4-5. نرخ خدمت‌دهی به مشتریان ویژه.** بر اساس داده‌های پیوست 5 اگر در صدد برآورد توزیعی برای این داده‌ها باشیم نتیجه مانند آنچه در شکل 7 به نمایش درآمده است خواهد بود. لذا به دلیل عدم تناسب توزیع برآورد شده توسط ED، در این قسمت به دلیل دو قله‌ای بودن داده‌ها، از یک توزیع تجربی مطابق با هیستوگرام متناظر این داده‌ها در شکل 8، برای تعیین نرخ خدمت‌دهی به مشتریان ویژه استفاده شده است.



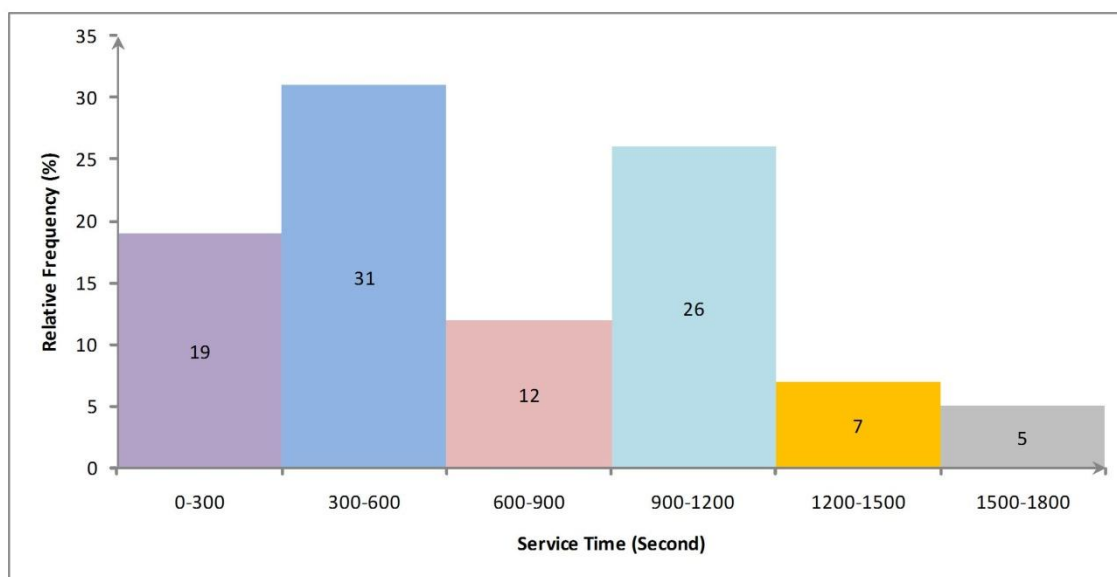
شکل 5. هیستوگرام و توزیع‌های برآوردشده برای خدمت‌دهی باجه 7



شکل 6. هیستوگرام و توزیع‌های برآوردشده برای خدمت‌دهی باجه‌های 2، 5، 9، 10، 12 و 16



شکل 7. هیستوگرام و توزیع‌های برآوردشده برای خدمت‌دهی به مشتریان ویژه



شکل 8. هیستوگرام توزیع تجربی خدمت‌دهی به مشتریان ویژه

#### 4-6. نرخ پرداختن به کارهای متفرقه توسط خدمت‌دهندگان. خصیصه دیگر که به

صورت متواتر در سیستم مشاهده شد دست کشیدن موقت خدمت‌دهندگان از خدمت‌دهی به مشتریان و پرداختن به کارهای متفرقه یا استراحت بود. برای اندازه‌گیری میزان این رخداد نیز بدین ترتیب عمل شده است که در طول مدت نمونه‌گیری از خدمت‌دهی سرورها، مدت زمانهای

چنین رخدادهایی زمانسنجی شده‌اند و هر بار با تقسیم بر طول مدت نمونه‌گیری درصدی برای آن بدست آمده است و در پایان میانگین این درصدها ثبت گشته است. در این مورد نیز خدمت-دهندگان به سه دسته تقسیم شده‌اند که باجه‌های 2، 5، 9، 10، 12 و 16 با میانگین 20% در دسته اول قرار دارند، یعنی با اتمام خدمتدهی هر مشتری، با احتمال 20% خدمت‌دهنده مزبور به امور متفرقه خواهد پرداخت و با احتمال 80% به خدمتدهی به مشتریان ادامه خواهد داد. دسته دوم شامل خدمت‌دهنده باجه 3 با میانگین 30% و دسته سوم شامل باجه 7 با میانگین 10% می-باشد. لازم به ذکر است که بر اساس مشاهدات فرض شده است که خدمت‌دهندگان باجه‌های 2، 5، 9، 10، 12 و 16 به دلیل تشابه عملکرد، در هر بار به میزانی با احتمال یکنواخت از 120 تا 600 ثانیه به انجام امور متفرقه ادامه می‌دهند. این بازه برای خدمت‌دهنده باجه 3 برابر با (180,900) و برای باجه 9، (60,300) فرض شده است. داده‌های مربوط به این مورد در پیوست 6 ارائه شده است.

#### 4-7. نرخ تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به هر باجه. این ویژگی از دیگر خصایصی

است که در سیستم حاضر حائز اهمیت به شمار می‌آید. بر اساس مشاهدات، متوسط میزان وقت صرف‌شده در هر یک از باجه‌ها، وزن تعلق گرفته به آنها از سوی مشتریان ویژه و در نهایت احتمال مراجعه مشتریان ویژه به هر کدام از خدمت‌دهندگان و هر گروه مشابه از آنها در جدول 2 ارائه شده است. شرح داده‌ها نیز در پیوست 7 قابل مشاهده است.

جدول 2. احتمال مراجعه مشتریان ویژه به هر خدمت‌دهنده

شماره خدمت‌دهنده					7	3	12	2	5	9	10	16
متوسط وقت صرف‌شده برای مشتریان ویژه (%)	20	40	40	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	$\frac{1}{20}$	$\frac{2}{20}$	$\frac{2}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{3}{20}$
	5	20	75									

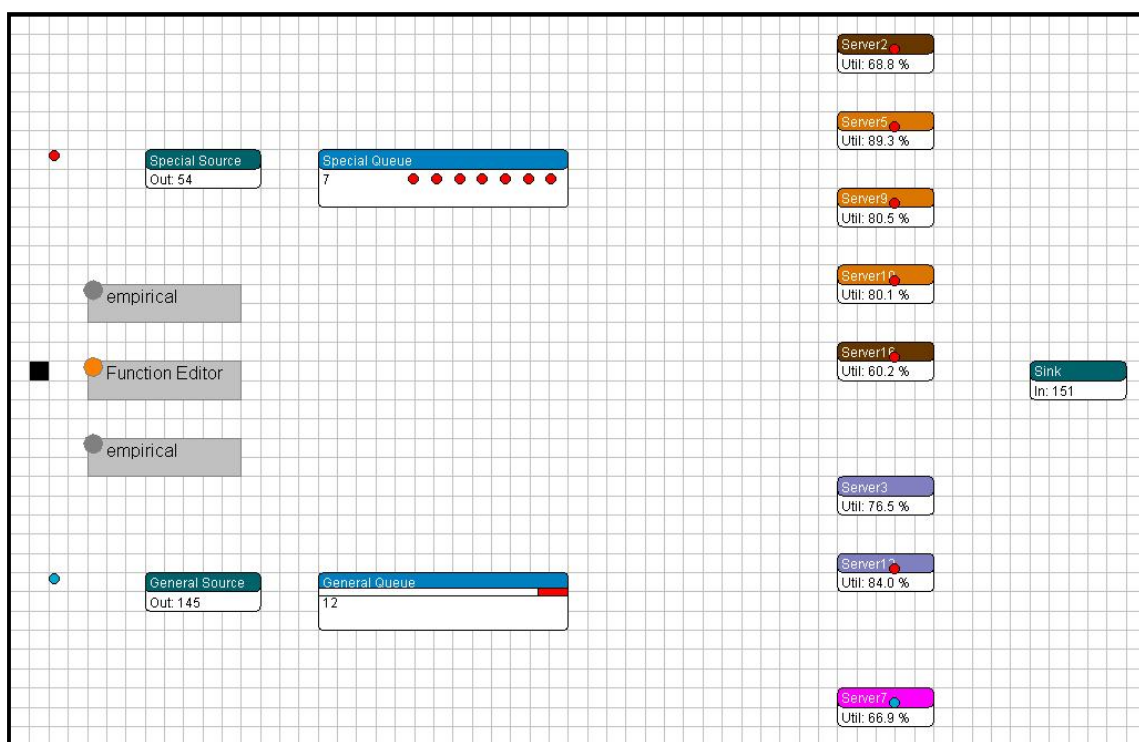
## 5. مدل‌سازی کاربردی مسئله با نرم‌افزار ED

نمایی از وضعیت ظاهری مدل کامپیوتری سیستم در نرم‌افزار ED در شکل 9 به نمایش درآمده است. برخی از جزئیات مهم در این مدل به شرح زیر است:

**5-1.** برای تعریف نوسان‌های مختلف پارامتر ورود در نرم‌افزار که در قسمت‌های 4-1 و 4-2 بدان اشاره شد، از کد زیر در قسمت Inter-arrival time از اتم‌های Special Source و General Source استفاده شده است:

$$\text{NegExp}(\text{ArrivalParameter}(p))$$

که در آن ArrivalParameter نام تابعی است که پارامتر  $p$  (متوسط زمان بین دو ورود در تمام اوقات) را گرفته و بر حسب شرایط جدول 1، مقدار پارامتر موثر جاری سیستم را که ضربی از مقدار متوسط آن است بر می‌گرداند. این تابع پس از 6.5 ساعت از آغاز شبیه‌سازی (یعنی ساعت 13:30 روزانه) مقداری بسیار بزرگ را برای متوسط مدت زمان تا ورود بعدی بر می‌گرداند.



شکل 9. نمای مدل کاربردی سیستم در نرم‌افزار ED

**5-2.** مشتریان ویژه در مدل با برچسب (Label) 1 و رنگ آبی و مشتریان عادی با برچسب 2 و رنگ قرمز شناسانده شده‌اند.

**3-5.** برای تعریف نرخ ترک صف در بین مشتریان عادی، از کد زیر در قسمت Triggers on entry از اتم General Queue استفاده شده است:

```
if( Bernoulli(80,0,1) ,
    Do(DestroyAtom(i){trace([Customer Abandoned!])} ,
        trace([Customer is waiting!]) ) )
```

که دستورهای trace برای پیگیری چگونگی عملکرد سیستم به کار رفته‌اند.

**4-5.** برای تعریف زمان خدمتدهی به هر یک از مشتریان، از دستوری مشابه با کد زیر در قسمت Cycletime در هر اتم سرور استفاده شده است:

```
if( Label([Customer],i)=1,
    Do(var([temp1],vbValue),temp1:=SpecialService,uniform(temp1-50,temp1+150)),
    Erlang(220,2) )
```

سطر دوم این دستور مربوط به انتخاب عددی تصادفی برای زمان خدمتدهی مشتریان ویژه در قالب توزیع هیستوگرام شکل 8 با استفاده از توزیع تجربی SpecialService می‌باشد. در صورتی که مشتری جاری باجه، یک مشتری عادی باشد زمان خدمتدهی آن در سطر سوم تولید می‌شود.

**5-5.** برای مدل کردن میزان تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به هر خدمت‌دهنده که در قسمت 7-4 مفهوم آن و در جدول 2 میزان آن مشخص شد، از دستور زیر در قسمت Send to از اتم Special Queue استفاده شده است:

```
case(
    NonSpecialServer,
    if(ocready(8,c)=1,8,indexmax(5,*(ocready(count,c),random(100000)))),
    if(
        or(ocready(7,c)=1,ocready(6,c)=1),5+indexmax(2,*(ocready(count+5,c),random(100000))),indexmax(5,*(ocready(count,c),random(100000))) ),
    indexmax(5,*(ocready(count,c),random(100000))) )
```

چنانچه عدد تصادفی تولید شده از توزیع تجربی NonSpecialServer برابر 1 باشد (به احتمال 5% چنین است)، در صورت بیکار بودن خدمت‌دهنده باجه 7، مشتری به آن باجه مراجعه خواهد کرد. چنانچه برابر با 2 باشد (به احتمال 20% چنین است)، در صورت بیکار بودن یکی یا هر دو خدمت‌دهنده باجه‌های 3 و 12، مشتری به آن باجه مراجعه خواهد کرد و اگر برابر با 3 باشد (به احتمال

75% چنین است) و یا آنکه امکان مراجعه مشتری به خدمت‌دهندگان در حالات قبل وجود نداشته باشد، مشتری بطور تصادفی به یکی از سایر خدمت‌دهندگان بیکار مراجعه خواهد کرد و اگر خدمت‌دهنده بیکاری موجود نباشد، برنامه به طور تصادفی برای مراجعه به یکی از خدمت‌دهندگان دسته اخیر زمانبندی خواهد شد.

دقت شود که در فرآیند خدمت‌دهی، همواره مشتریان ویژه در اولویت قرار دارند. برای رعایت این اولویت، صف مربوط به مشتریان ویژه به ورودی اول هر سرور و صف مشتریان عادی به ورودی دوم وصل شده است، به این ترتیب در نرم‌افزار ED خودبخود این ویژگی برقرار می‌گردد.

**5-6.** برای تعریف پرداختن کارمندان به کارهای متفرقه و یا دست کشیدن از کار در مدل کامپیوتری، که در بخش 4-6 میزان آن به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت، از دستوری مشابه با کد زیر در قسمت Triggers on exit از هر اتم سرور استفاده شده است:

```
if( and(Bernoulli(20,1,0),content(in(2,c))<20),
do(DelayEvents(Uniform(120,600),c),color(c):=ColorRed) )
```

با به حالت بیکار در آمدن سرور، رنگ آن نیز به حالت قرمز در می‌آید و با اتمام این مدت و ورود مشتری بعدی، دوباره سرور رنگ عادی خود را باز می‌یابد و این نیز با استفاده از تعریف رنگ که در Triggers on entry هر سرور آورده شده است تحقق می‌یابد. در ضمن، با شلوغی بیش از حد سیستم، پرداختن به کارهای متفرقه متوقف شده و کارکنان بی‌وقفه در جهت به راه انداختن مشتریان تلاش می‌کنند؛ این شرط نیز در قالب دستور  $content(in(2,c)) < 20$  در کد فوق پیش-بینی شده است.

## 6. آزمایش مدل‌های شبیه‌سازی و تعیین اعتبار آنها

برای تعیین اعتبار (Validation) مدل ذهنی جاری هر سیستم روشهای مختلفی از مشاوره با خبره و دست‌اندرکاران سیستم گرفته تا انجام آزمون فرض آماری  $t$  زوجی وجود دارد. در مدل جاری، در مرحله اول با مشاهده رفتار سیستم و مصاحبه با کارمندان شعبه سعی شده در جهت دستیابی به اعتبار صوری و اعتبار فرضهای مدل، تا حد امکان تمامی اتفاقات موثر و متواتر سیستم واقعی در مدل گنجانده شود. از جمله این خصایص می‌توان به لحاظ کردن تمایل مشتریان ویژه به مراجعه بیشتر به برخی خدمت‌دهندگان، تغییر در الگوی ورود افراد در روزهای دارای مورخه‌های سراسر ماهیانه (5، 10، 15، 20 و 25) و یا تفاوت چشمگیر میان توزیع خدمت‌دهی مشتریان عادی و ویژه، در مدل ذهنی

و کامپیوتری اشاره کرد. این موارد در زمره فرضهای ساختاری و فرضهای مربوط به داده‌های سیستم قرار دارند که ساده‌سازی و تجریدی معتبر از واقعیت را در مدل به نمایش گذارده‌اند.

از جمله سایر موارد مطرح در زمینه تعیین اعتبار صوری یک مدل، می‌توان به تحلیل حساسیت مدل اشاره کرد، یعنی مثلاً با تغییر آهنگ ورود مشتری به سیستم، تغییرات طول صفها و یا ضریب بهره‌برداری خدمت‌دهندگان در مدل کامپیوتری را ارزیابی و انطباق آن با واقعیت را بررسی کرد. در مدل فعلی با توجه به افزایش 10 درصدی تعداد ورودها در روزهای انتهایی ماه نسبت به ایام سرراست و همین میزان افزایش به نسبت ایام عادی، انتظار می‌رود متناظر با آن متوسط مدت زمان انتظار در صف، متوسط تعداد مشتریان حاضر در صف و نیز ضریب عملکرد خدمت‌دهندگان افزایش یابد. برای بررسی این موضوع، مدل را در سه تاریخ مختلف شامل 31 آگوست به عنوان نماینده ایام انتهایی ماه، 5 سپتامبر به عنوان نماینده روزهای سرراست ماه و 7 سپتامبر به عنوان یک روز عادی اجرا کردیم و نتایج شکل‌های 10 و 11 و 12 را به دست آوردیم. البته برای همسان بودن الگوی ورود و خدمت‌دهی در هر سه اجرا از الگوریتم تولید اعداد تصادفی شماره 1 با مقدار هسته 5878 استفاده کردیم. همان طور که مشاهده می‌شود در تاریخ 31 آگوست متوسط تعداد حاضر در صف مشتریان عادی 15.6 و متوسط زمان انتظار در آن 1458.5 می‌باشد که این مقادیر در تاریخ 5 سپتامبر به 8.8 و 963.4 و در 7 سپتامبر به 4.6 و 482.1 کاهش یافته‌اند و در تطابق کامل با انتظارات قرار دارند. همچنین به عنوان نمونه، ضریب عملکرد خدمت‌دهنده باجه 9، از 0.94 در روز 31 آگوست به 0.87 در 5 سپتامبر و 0.85 در 7 سپتامبر کاهش یافته است که کاملاً مطابق با انتظارات است. البته این ارزیابی تنها اعتبار صوری مدل را در بر می‌گیرد و به دلیل ماهیت کاملاً تصادفی مدل، عدم تطابقات احتمالی با انتظارات در چنین ارزیابی‌هایی نمی‌تواند به خودی خود چیزی را اثبات نماید.



summary report					
name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	average
NonSpecialServe	0	0.000	0	0	0.000
SpecialService	0	0.000	0	0	0.000
Function Editor	0	0.000	0	0	0.000
General Source	0	0.011	333	333	0.802
General Queue	0	15.627	333	270	1458.515
Server2	0	0.840	31	31	682.539
GeneralCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Server3	1	0.684	62	61	280.515
Server5	0	0.893	41	41	548.588
Server7	0	0.894	107	107	210.457
Server9	0	0.943	43	43	552.607
Server10	0	0.927	40	40	584.034
Server12	0	0.798	73	73	275.395
Server16	0	0.838	39	39	541.718
Special Source	0	0.100	166	166	15.136
Sink	0	0.000	435	0	0.000
SpecialCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Special Queue	0	4.113	166	166	624.392
Model start time Tuesday, August 31 2010 03:49:09					
Model end time Tuesday, August 31 2010 10:49:09					
Runlength (seconds) 25200.00					
End of report.					

شکل 10. گزارشی از عملکرد مدل در یک روز انتهایی ماه

summary report					
name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	average
NonSpecialServe	0	0.000	0	0	0.000
SpecialService	0	0.000	0	0	0.000
Function Editor	0	0.000	0	0	0.000
General Source	0	0.000	310	310	0.000
General Queue	0	8.870	310	232	963.415
Server2	1	0.894	26	25	868.548
GeneralCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Server3	0	0.558	61	61	230.359
Server5	0	0.905	37	37	616.071
Server7	1	0.844	105	104	203.650
Server9	1	0.876	42	41	526.819
Server10	1	0.824	32	31	666.096
Server12	1	0.807	62	61	332.411
Server16	0	0.788	33	33	602.026
Special Source	0	0.026	166	166	3.873
Sink	0	0.000	393	0	0.000
SpecialCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Special Queue	0	4.259	166	166	646.488
Model start time Sunday, September 05 2010 03:46:42					
Model end time Sunday, September 05 2010 10:46:42					
Runlength (seconds) 25200.00					
End of report.					

شکل 11. گزارشی از عملکرد مدل در یک روز از ماه با شماره سراسرت (روز پنجم ماه)

summary report					
name	content		throughput		staytime
	current	average	input	output	average
NonSpecialServe	0	0.000	0	0	0.000
SpecialService	0	0.000	0	0	0.000
Function Editor	0	0.000	0	0	0.000
General Source	0	0.000	301	301	0.000
General Queue	0	4.611	301	241	482.160
Server2	0	0.774	22	22	886.888
GeneralCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Server3	0	0.586	49	49	301.479
Server5	0	0.790	46	46	432.561
Server7	0	0.739	86	86	216.480
Server9	0	0.856	40	40	539.228
Server10	0	0.816	46	46	446.845
Server12	0	0.655	67	67	246.291
Server16	0	0.723	32	32	569.345
Special Source	0	0.000	147	147	0.000
Sink	0	0.000	388	0	0.000
SpecialCustomer	0	0.000	0	0	0.000
Special Queue	0	1.440	147	147	246.836
Model start time Tuesday, September 07 2010 03:38:27					
Model end time Tuesday, September 07 2010 10:38:27					
Runlength (seconds) 25200.00					
End of report.					

شکل 12. گزارشی از عملکرد مدل در یک روز عادی

در تکمیل کوششها در زمینه تعیین اعتبار مدل، به مقایسه داده‌های مربوط به تعداد مشتریان خدمت‌گرفته از باجه 3 در طول مدت یک ساعت در  $K = 12$  روز مختلف و در حوالی بین ساعتهای 10 تا 13، با خروجی حاصله از مدل با استفاده از آزمون  $t$  زوجی در روزهای مشابه پرداخته‌ایم. نتایج به‌دست آمده در جدول 3 قابل مشاهده است. به منظور انجام آزمون فرض

$$H_0: \mu_d = 0 \quad \text{یا} \quad H_0 = E(Z) = E(W)$$

که در آن  $Z$  معرف میزان خروجی خدمت‌دهنده 3 در طول یک ساعت و  $W$  میزان پیش‌بینی شده خروجی در مدل شبیه‌سازی است، از آماره  $t$  وابسته استفاده می‌شود. فرض می‌شود سطح معنادار بودن مساوی  $\alpha = 0,05$  باشد. مقدار عددی آماره بر اساس مندرجات جدول 3 به شرح زیر به‌دست می‌آید:

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_d / \sqrt{K}} = \frac{-0,833}{3,927 / \sqrt{12}} = -0,735$$

جدول 3. مقایسه خروجی یک ساعته خدمت‌دهنده 3 در مدل و سیستم واقعی به منظور تعیین اعتبار مدل

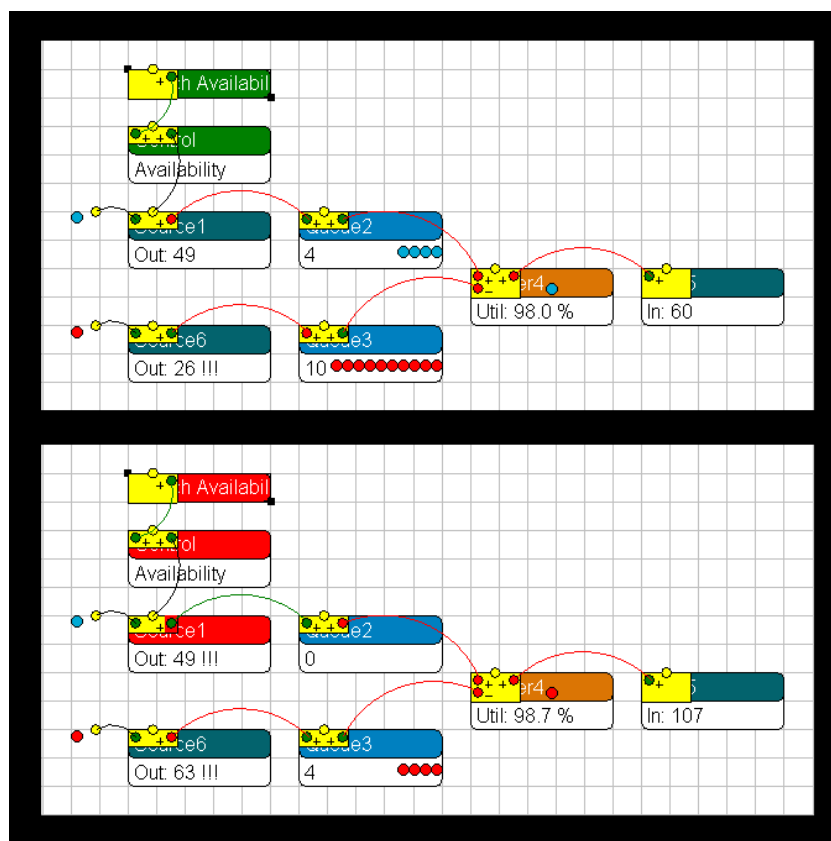
تاریخ ثبت داده‌ها	مجموعه داده‌های ورودی $j$	خروجی سیستم $Z_j$	خروجی مدل $W_j$	تفاوت مشاهده شده $d_j$	مربع انحراف از میانگین $(d_j - \bar{d})^2$
89,4,20	1	7	9	2	8,026
89,4,21	2	13	6	-7	38,032
89,4,22	3	13	10	-3	4,696
89,4,23	4	9	5	-4	10,030
89,4,24	5	11	13	2	8,026
89,4,26	6	4	8	4	23,358
89,4,27	7	8	7	-1	0,028
89,4,28	8	11	4	-7	38,032
89,4,29	9	7	12	5	34,024
89,4,30	10	5	6	1	3,360
89,4,31	11	8	8	0	0,694
89,5,2	12	8	6	-2	1,362
$\bar{d} = -0,833$					$S_d^2 = 15,424$

مقدار بحرانی به‌دست آمده برای  $t_{\alpha/2; K-1} = t_{0,025; 11}$  برابر با 2,20 است. بنابراین، چون رابطه  $|t_0| = 0,735 < t_{0,025; 11} = 2,20$  برقرار است، نمی‌توان فرض صفر را رد کرد، یعنی، از نظر میزان تولید خروجی ناهمگنی بین پاسخ سیستم و پیش‌بینی‌های مدل به چشم نمی‌خورد.

برای آزمایش (Verification) مدل شبیه‌سازی حاضر و تطابق آن با مدل ذهنی نیز در هر مرحله از ساخت مدل، خروجی مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی شده است. به عنوان مثال، برای اطلاع از درست عمل کردن مدل در تولید پارامتر ورود متناسب با زمان در تابع ArrivalParameter، از دستور `trace(String(temp))` در انتهای تابع استفاده شده است. به این ترتیب، هر مقدار تولیدشده برای پارامتر مذکور، در پنجره Tracer قابل مشاهده و ردیابی خواهد شد. همچنین برای اطلاع از عملکرد صحیح دستورات مربوط به ترک صف General Queue در بین مشتریان، از دو دستور `trace([Customer is Waiting!])` و `trace([Customer Abandoned!])` استفاده شده است تا گزارش مربوط به رفتار هر مشتری وارد شده به صف، از طریق پنجره Tracer قابل مشاهده باشد.

به عنوان نمونه‌ای دیگر از تلاش‌های انجام شده در جهت آزمایش مدل در قسمت اولویت خدمت‌دهی به مشتریان ویژه وارد شده از طریق کانال شماره 1 هر اتم سرور، مدل نمایش داده شده در شکل 13 ساخته شد. مشاهدات از این قرار بود که هر موقع در Queue2 مشتری در انتظار خدمت وجود داشته

باشد تنها به این مشتریان خدمت‌دهی صورت می‌گیرد، حتی اگر Queue3 خالی نباشد؛ و هر موقع که Queue2 خالی شد، خدمت‌دهی به مشتریان صف Queue3 آغاز می‌گردد. به این ترتیب اولویت خدمت‌دهی به مشتریان ویژه در مدل اصلی احراز می‌گردد.



شکل 13. مدل ساخته شده برای آزمایش مدل در قسمت استراتژی ورودی هر اتم خدمت‌دهنده

## 7. تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از مدل شبیه‌سازی

در یک مدل شبیه‌سازی که یک بار در فاصله زمانی  $(0, T)$  اجرا می‌شود و ناظر به تبدیل متغیرهای ورودی به خروجی است، چون برخی از متغیرهای ورودی ماهیتی تصادفی دارد به طور کلی متغیرهای خروجی مانند متوسط طول صف یا ضریب عملکرد یک خدمت‌دهنده نیز تصادفی خواهد بود. به این ترتیب اگر قصد ارائه برآوردی برای یکی از متغیرهای خروجی در قالب یک فاصله اطمینان و در چارچوب میزان دقت مشخصی را داشته باشیم باید حداقلی را برای تعداد اجراهای مستقلی از مدل به دست آوریم تا میزان تاثیر تصادفی بودن پاسخهای حاصله تحت کنترل درآید. در مدل کنونی، قصد پیدا کردن یک برآورد فاصله‌ای با احتمال 95% و با دقت 60 ثانیه برای متوسط زمان انتظار در صف مشتریان عادی را داریم، چرا که مهمترین شاخص عملکرد این سیستم است و اصلاً پروژه شبیه‌سازی

برای حل مشکلات این قسمت تعریف شده است. مضافاً اینکه متوسط زمان انتظار در صف مشتریان ویژه در سیستم جاری با مشکل خاصی مواجه نیست، چون اولویت خدمتدهی در هر حال با چنین مشتریانیست و صف ایجاد شده در مدل برای این مشتریان صرفاً برای تعریف رفتار مشتریان ویژه به سیستم در مراجعه به خدمت‌دهندگان بیکار و یا تغییر آن به محض بیکار یافتن خدمت‌دهنده‌ای دیگر و قبل از شروع خدمت‌گیریست. برای پیدا کردن این فاصله اطمینان ابتدا مدل را 31 بار (به اندازه طول روزهای یک ماه) اجرا می‌کنیم؛ دلیل اجرا به این تعداد آن است که مدل ما در طول روزهای مختلف ماه، طبق موارد بحث شده در قسمتهای 1-4 و 2-4 دارای نوساناتی در الگوهای ورود افراد به سیستم است و برای لحاظ شدن این نوسانات در تخمین برآورد اولیه مقدار متوسط و انحراف معیار زمان انتظار در صف عادی، این تعداد اجرای اولیه لازم است. به این ترتیب فاصله اطمینانی به شکل

$$\hat{W} - \frac{t_{\alpha/2;R-1}S}{\sqrt{R}} = \hat{W} - t_{\alpha/2;R-1}\hat{\sigma}(\hat{W}) \leq W \leq \hat{W} + t_{\alpha/2;R-1}\hat{\sigma}(\hat{W}) = \hat{W} + \frac{t_{\alpha/2;R-1}S}{\sqrt{R}}$$

برای این مدل شبیه‌سازی که حالتی منقطع و گذرا (و نه پایا) دارد قابل تشکیل خواهد بود که در آن  $\hat{\sigma}(\hat{W}) = S/\sqrt{R}$  انحراف معیار برآورد شده برای  $\hat{W}$  و  $S$  همان انحراف معیار نمونه و  $R$  نیز نماینده تعداد دوباره سازیهاست.

جدول 4. اندازه نمونه نهایی برای یک فاصله اطمینان 95 درصدی با دقت 60 ثانیه برای متوسط زمان انتظار در صف

$R$	31	300	721
$t_{\alpha/2;R-1}$	2,04	1,96	1,96
$\hat{W}$	1160,62	1230,51	1295,45
$S$	509,27	821,42	810,05
$(\frac{t_{\alpha/2;R-1}S}{\epsilon})^2$	299,81	720,01	700,22

جدول 5. اندازه نمونه نهایی برای یک فاصله اطمینان 95 درصدی با دقت 4% برای ضریب بهره‌وری خدمت‌دهنده 3

$R$	31	38	66
$t_{\alpha/2;R-1}$	2,04	2,03	2,00
$\hat{\rho}$	0,73	0,74	0,71
$S$	0,12	0,16	0,12
$(\frac{t_{\alpha/2;R-1}S}{\epsilon})^2$	37,45	65,93	36

اگر بخواهیم که حدود فاصله اطمینان ما دارای دقت مشخصی باشد، یعنی

$$h.l. = \frac{t_{\alpha/2; R-1} S}{\sqrt{R}} \leq \epsilon$$

باید داشته باشیم

$$R \geq \left( \frac{t_{\alpha/2; R-1} S}{\epsilon} \right)^2$$

و بنا به رابطه  $t_{\alpha/2; R-1} \geq Z_{\alpha/2}$  نامساوی

$$R \geq \left( \frac{Z_{\alpha/2} S_0}{\sqrt{\epsilon}} \right)^2$$

بیانگر برآوردی اولیه برای  $R$  است که در آن  $S_0$  انحراف معیار نمونه اولیه می‌باشد. طبق نتایج جدول 4، تعداد حداقل 721 اجرا برای تشکیل یک فاصله اطمینان 95% با خطای 60 ثانیه برای برآورد متوسط زمان انتظار مشتریان در صف عادی لازم است. به این ترتیب می‌توان گفت که متوسط زمان انتظار مشتریان عادی در صف با احتمال 95% در فاصله (1236.29, 1354.61) قرار دارد. حال اگر بخواهیم ضریب عملکرد خدمت‌دهنده 3 را نیز به عنوان نمونه در یک چنین فاصله اطمینانی با خطای 4% برآورد کنیم، طبق نتایج جدول 5 به حداقل 66 اجرا نیاز داریم که نشان می‌دهد ضریب عملکرد وی با احتمال 95% در فاصله (68.04, 73.95) قرار دارد؛ و برای برآورده شدن هر دو معیار، تعداد ماکسیمم اجراها، یعنی همان 721 نمونه لازم است. گزارش آزمایشها در شکل 14 قابل مشاهده است.

Observation period:	14400					
Warmup period:	9000					
Number of observations:	721					
Simulation method:	Separate runs					
Description:						
<b>General Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	14.16	9.08	13.49	14.82	0.65	38.39
Avg. Waiting Time	1295.45	810.05	1236.29	1354.61	63.12	3811.71
<b>Server3</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Performance	0.73	0.14	0.72	0.74	0.43	1.00
<b>Special Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	2.72	1.67	2.60	2.84	0.27	8.00

شکل 14. گزارش پاسخهای طرح آزمایشهای سیستم در مدل اولیه

یک نکته قابل ذکر در این قسمت آن است که در نرم‌افزار ED طرح تعداد زیادی آزمایش با استفاده از ابزار Experiment Wizard در حالت پیش فرض با تکرار اجرای مدل از زمان مشخص و ثابتی (زمان حال حاضر سیستم عامل) انجام می‌پذیرد. اما مدل جاری این تحقیق، متضمن اجرا در ایام مختلف یک ماه و با پارامترهای نوسان یافته می‌باشد و تنها در این شرایط است که می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از سیستم واقعی به عمل آورد. برای اعمال این ویژگی از مدل، و انجام آزمایش در مثلاً 31 روز متوالی به جای حالت پیش‌فرض 31 بار اجرا در یک روز، از کد کامپیوتری

BaseTime:=Today+hr(24)

در قسمت Triggers: on start of run و نیز دستور

Today:=BaseTime

در قسمت Triggers: on end of run از منوی Experiment Wizard استفاده شده است. دقت شود که Today یک متغیر جهانی در نرم‌افزار است که در قسمت Startup Script... از نرم‌افزار با مقدار اولیه زمان حال حاضر سیستم‌عامل تعریف گشته است. به این ترتیب در انتهای هر بار اجرا، زمان اولیه شبیه‌سازی اخیر در این متغیر قرار می‌گیرد و در ابتدای اجرای بعد به زمان اولیه قبلی یک شبانه‌روز اضافه می‌گردد.

به عنوان توضیح شایان ذکر است که در طرح این آزمایشها، در هر بار مدل به مدت 2,5 ساعت برای وارد شدن به حالت پایدار (Warm-up period) اجرا شده و در 4 ساعت بعدی اقدام به جمع-آوری پاسخ‌های سیستم شده است، چرا که خلوتی بیش از حد سیستم در ساعات صبح باعث ایجاد ریبی‌هایی در برآورد پارامترها می‌شود، به علاوه نیم ساعت آخر ساعت کاری 7 ساعته هر روز، تنها صرف پاسخگویی به مشتریان باقیمانده در سیستم می‌شود و از ورود مشتری جدید به سیستم ممانعت به عمل می‌آید که باعث خروج سیستم از حالت پایدار می‌گردد.

## 8. ارائه راه حل‌ها و مقایسه و ارزیابی طرح‌های مختلف از سیستم

در پژوهش حاضر سه سناریوی مختلف برای کاهش مدت زمان انتظار مشتریان عادی در صف پیشنهاد شده است. اولین پیشنهاد، بیشتر در جهت بهینه‌سازی صف مشتریان عادی عمل می‌کند، کمترین تغییرات را در سیستم به وجود می‌آورد و کمترین میزان هزینه را نیز به بار می‌آورد. در مقابل، سناریوی سوم بیشترین میزان بهینه‌سازی را در سیستم به وجود می‌آورد و علاوه بر صف

مشتریان عادی، در بهبود خدمتدهی به مشتریان ویژه نیز کاملاً موثر واقع می‌شود؛ در عین حال سیستم را متحمل بیشترین بار مالی نیز می‌نماید.

**8-1.** در سناریوی اول میزان خدمتدهی به مشتریان ویژه در یکی از کارمندانی که بیشترین (60%) وقت خود را صرف ارائه خدمات بانکی به این مشتریان می‌کنند به  $\frac{2}{3}$  کاهش یافته و تعداد کارمندانی که 40% وقت خود را در اختیار آنان قرار می‌دهند به سه نفر افزایش می‌یابد. این کار می‌تواند با هدایت و تشویق مشتریان ویژه توسط شخص خدمت‌دهنده به مراجعه به سایر همکاران، و یا تعویض خدمت‌دهنده مذکور با یکی از کارمندان سایر قسمت‌های شعبه انجام گیرد، چرا که تمایل مراجعه به فرد خاصی از خدمت‌دهندگان از سوی چنین مشتریانی، به میزان زیادی به دلیل وجود آشنایی و شناخت قبلی از سوی آنان است. به این ترتیب میزان اوزان و ارقام ارائه شده در جدول 2 و توزیع تجربی NonSpecialServer تغییر می‌نماید، شرح تغییرات در جدول 6 نمایان است.

جدول 6. احتمال مراجعه مشتریان ویژه به هر خدمت‌دهنده در سناریوی اول

شماره خدمت‌دهنده	7	3	10	12	2	5	9	16
متوسط وقت صرف شده برای مشتریان ویژه (%)	20	40	40	40	60	60	60	60
وزن	1	2	2	2	3	3	3	3
احتمال مراجعه	$\frac{1}{19}$	$\frac{2}{19}$	$\frac{2}{19}$	$\frac{2}{19}$	$\frac{3}{19}$	$\frac{3}{19}$	$\frac{3}{19}$	$\frac{3}{19}$
احتمال مراجعه به گروه (%)	5.5	31.5			63			

با این اوصاف، بنا بر فاصله اطمینان به دست آمده از جدول 7 و گزارش شکل 15، برآورد نقطه‌ای متوسط زمان انتظار در صف در این سناریو برابر با 1183.66 بوده و با احتمال 95% در فاصله (1123.75, 1243.57) قرار دارد، که برآورد نقطه‌ای آن نسبت به مقدار 1295.45 مدل اولیه، بهبود 112 ثانیه‌ای پیدا کرده است. اما همان طور که پیش‌بینی نیز می‌شد، متوسط تعداد مشتریان ویژه در انتظار خدمت، به میزان نه چندان محسوسی از 2.72 به 3.13 افزایش یافته است و این بدان دلیل است که این سناریو تنها زمان انتظار مشتریان عادی را هدف گرفته است.



جدول 7. اندازه نمونه نهایی برای یک فاصله اطمینان 95 درصدی با دقت 60 ثانیه برای متوسط زمان انتظار در صف در سناریوی اول

$R$	31	584	639	656
$t_{\alpha/2;R-1}$	2,04	1,96	1,96	1,96
$\hat{W}$	1117,38	1148,38	1178,88	1183,66
$S$	710,74	773,35	783,80	782,53
$(\frac{t_{\alpha/2;R-1}S}{\epsilon})^2$	583,95	638,21	655,57	653,45

Observation period:	14400					
Warmup period:	9000					
Number of observations:	656					
Simulation method:	Separate runs					
Description:						
<b>General Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	13.04	8.93	12.36	13.72	0.57	37.81
Avg. Waiting Time	1183.66	782.53	1123.75	1243.57	51.10	3793.46
<b>Server3</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Performance	0.74	0.13	0.73	0.75	0.43	1.00
<b>Special Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	3.13	1.78	2.99	3.26	0.31	8.72
Avg. Waiting Time	447.40	233.78	429.50	465.30	61.04	1220.38

شکل 15. گزارش پاسخ‌های طرح آزمایش‌های سیستم در سناریوی اول

8-2. در سناریوی دوم برای کاهش مدت زمان انتظار در صف پیش‌بینی شده است که شعبه با به کارگیری یک دستگاه خودکار کامپیوتری (شعب 724 بانک صادرات ایران) در محل شعبه و تشویق مشتریان ویژه به استفاده از خدمات اینترنتی بانک با استفاده از در اختیار قرار دادن دستگاه رمزیاب رایگان به این مشتریان، بسیاری از عملیات مورد درخواست این مشتریان مانند انتقال وجه، پرداخت قبوض، دستور پرداخت‌های دوره‌ای، تعیین مبلغ چک، مشاهده صورتحساب و مدیریت حسابها را از طریق آن به انجام رساند. بر اساس مشاهدات و نظر کارمندان شعبه، این دستگاه‌ها محبوبیتی نزد مشتریان عادی بانکها ندارند، به‌علاوه، به دلیل استقرار سیستم نوبت‌دهی در شعبه، هرگونه مراجعه به این دستگاه از سوی صف مشتریان عادی سیستم صورت نخواهد

گرفت و تنها در قالب مشتریان خارج از صف اصلی صورت می‌گیرد؛ به همین دلیل در مدل سناریوی جاری تنها خدمتدهی از جانب صف ویژه برای آن تعریف شده است. ضمناً مدت خدمتدهی آن هم‌توزیع با خدمتدهی اکثریت کارمندان شعبه در نظر گرفته شده است، هر چند به گمان زیاد بسیار کمتر از آن خواهد بود. مضافاً اینکه فرض شده است که میزان تمایل مشتریان خاص به مراجعه به دستگاه، حالتی متوسط و بینابین، یعنی نظیر کارمندان باجه‌های 3 و 12 در مدل اصلی داشته باشد. لذا اوزان مطرح شده در جدول 2 و نسبت‌های توزیع تجربی NonSpecialServer، میزانی به اندازه آنچه در جدول 8 به نمایش در آمده است خواهد یافت.

به این ترتیب حتی با این فرضیات، بر اساس نتایج جدول 9 و گزارش شکل 16، مدت زمان انتظار در صف مشتریان عادی که خود از دستگاه استفاده هم نمی‌کنند با احتمال 95% در فاصله (638.06,755.45) خواهد بود و برآورد نقطه‌ای آن عدد 697 ثانیه را نشان می‌دهد که بهبود چشمگیر حدوداً 10 دقیقه‌ای را نسبت به مدل اولیه حاصل می‌کند و بر خلاف سناریوی اول، متوسط تعداد مشتریان ویژه در انتظار خدمت را نیز از 2.72 نفر به 1.40 کاهش می‌دهد.

جدول 8. احتمال مراجعه مشتریان ویژه به هر خدمت‌دهنده در سناریوی دوم و سوم

شماره خدمت‌دهنده	7	Auto/New Server	3	12	2	5	9	10	16
متوسط وقت صرف‌شده برای مشتریان ویژه (%)	20	40	40	40	60	60	60	60	60
وزن	1	2	2	2	3	3	3	3	3
احتمال مراجعه	$\frac{1}{22}$	$\frac{2}{22}$	$\frac{2}{22}$	$\frac{2}{22}$	$\frac{3}{22}$	$\frac{3}{22}$	$\frac{3}{22}$	$\frac{3}{22}$	$\frac{3}{22}$
احتمال مراجعه به گروه (%)	4.5	27			68.5				

جدول 9. اندازه نمونه نهایی برای یک فاصله اطمینان 95 درصدی با دقت 60 ثانیه برای متوسط زمان انتظار در صف

در سناریوی دوم

$R$	31	332	382
$t_{\alpha/2; R-1}$	2,04	1,96	1,96
$\hat{W}$	649,23	670,69	696,76
$S$	535,70	598,30	585,01
$\left(\frac{t_{\alpha/2; R-1} S}{\epsilon}\right)^2$	331,74	381,99	365,20

Observation period:	14400					
Warmup period:	9000					
Number of observations:	382					
Simulation method:	Separate runs					
Description:						
<b>General Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg Length	7.99	7.16	7.27	8.70	0.20	33.42
Avg. Waiting Time	696.76	585.01	638.06	755.45	22.24	2767.61
<b>Server3</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Performance	0.65	0.12	0.63	0.66	0.36	1.00
<b>Special Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	1.40	1.03	1.30	1.51	0.14	5.66
Avg. Waiting Time	190.04	123.05	177.70	202.39	27.55	698.33

شکل 16. گزارش پاسخ‌های طرح آزمایش‌های سیستم در سناریوی دوم

**3-8.** در سناریوی سوم برای کاهش مدت زمان انتظار مشتریان در صف پیشنهاد به کارگیری یک خدمت‌دهنده جدید در قسمت جاری سیستم ارائه شده است. بالطبع، به دلیل جدید بودن این خدمت‌دهنده، مشتریان ویژه بیشترین تمایل را برای مراجعه به وی نخواهند داشت، لذا با در نظر گرفتن میزان متوسط برای این پارامتر، اوزان مطرح شده در جدول 2 و نسبت‌های توزیع تجربی NonSpecialServer این بار نیز به فرم جدول 8 در خواهد آمد. مدت خدمت‌دهی این خدمت‌دهنده نیز هم‌توزیع با خدمت‌دهی اکثریت کارمندان شعبه در نظر گرفته شده است. با این مفروضات، بر اساس نتایج جدول 10 و گزارش شکل 17، مدت زمان انتظار در صف مشتریان عادی با احتمال 95% در فاصله (483.91, 600.73) خواهد بود. برآورد نقطه‌ای آن هم 542 ثانیه به دست می‌آید که بهبود چشمگیر 12.5 دقیقه‌ای را نسبت به مدل اولیه حاصل می‌کند و متوسط تعداد مشتریان ویژه در انتظار خدمت را نیز از 2.72 نفر به 1.85 کاهش می‌دهد، به علاوه، به عنوان نمونه ضریب

عملکرد خدمت‌دهنده 3 را به عنوان کم‌کارترین فرد سیستم، از 73% به 65% کاهش می‌دهد. همان‌طور که مشهود است، سناریوی اخیر بیشترین تاثیر را هم بر صف مشتریان عادی و هم زمان انتظار مشتریان ویژه اعمال می‌کند، در عین حال به‌کارگیری یک خدمت‌دهنده جدید، پرهزینه‌ترین راه حل ممکن در بین سناریوهای ارائه شده نیز هست.

به این ترتیب، مدیریت تصمیم به انتخاب هر کدام از سه سناریوی پیشنهادی فوق که داشته باشد گزینه انتخاب‌شده با ایجاد بهبودی نسبی در سیستم متناسب با بار مالی تحمیل‌کننده آن، در صد حل مشکلات سیستم در خصوص شکایت مشتریان عادی از انتظار بیش از حد در صف، و نیز افزایش بهره‌وری برمی‌آید.

جدول 10. اندازه نمونه نهایی برای یک فاصله اطمینان 95 درصدی با دقت 60 ثانیه برای متوسط زمان انتظار در صف در سناریوی سوم

$R$	31	273
$t_{\alpha/2; R-1}$	2,04	1,96
$\hat{W}$	512,07	542,32
$S$	485,66	492,12
$(\frac{t_{\alpha/2; R-1} S}{\epsilon})^2$	272,66	258,43

Observation period:	14400					
Warmup period:	9000					
Number of observations:	273					
Simulation method:	Separate runs					
Description:						
<b>General Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	6.31	6.15	5.58	7.04	0.19	29.12
Avg. Waiting Time	542.32	492.12	483.91	600.73	21.64	2389.75
<b>Server3</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Performance	0.65	0.11	0.64	0.66	0.41	1.00
<b>Special Queue</b>						
	<i>Average</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Lower bound (95%)</i>	<i>Upper bound (95%)</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Avg. Length	1.85	1.41	1.68	2.02	0.11	6.63
Avg. Waiting Time	250.76	170.60	230.51	271.01	18.77	820.03

شکل 17. گزارش پاسخ‌های طرح آزمایش‌های سیستم در سناریوی سوم

### پیوست 1. ارقام گردآوری شده برای زمانهای بین ورود مشتریان عادی

257	50	48	205	15	14	11	624	65	78	1	58	42	207	20	33	16	50	51	45
57	70	35	160	8	13	41	101	354	10	51	82	67	66	18	1	68	10	9	10
352	10	50	95	27	43	82	243	182	13	23	60	71	172	30	3	1	125	16	65
25	50	1	180	25	94	57	136	18	50	65	40	27	59	37	46	75	24	35	10
140	100	29	183	20	313	60	16	13	25	128	175	39	83	31	20	42	29	21	2
30	2	50	13	65	47	167	170	9	28	29	15	81	14	104	8	53	1	52	1
45	273	285	134	5	56	166	78	118	157	49	59	75	52	265	13	153	10	21	31
40	115	265	263	48	27	216	52	77	2	21	36	73	38	2	36	7	54	4	6
38	110	30	47	60	41	208	54	42	292	180	2	121	35	43	95	6	25	31	64
72	105	63	15	275	25	55	118	110	35	27	1	35	47	35	35	81	4	15	61
140	290	47	102	16	113	25	14	7	46	3	2	6	158	60	74	112	100	74	89
405	20	55	83	115	47	42	261	72	60	5	44	10	98	1	10	43	19	46	39
75	340	118	165	31	16	28	440	69	26	48	93	89	35	27	48	65	123	24	
5	2	67	5	154	71	40	117	1	9	70	96	81	22	74	18	29	91	204	

### پیوست 2. ارقام گردآوری شده برای زمانهای بین ورود مشتریان ویژه

442	73	189	68	53	201	137	51	20	39	158	1	85	1040	64	130	49	169	238	177
62	215	284	50	72	31	11	29	142	48	60	142	93	194	85	6	56	124	68	152
166	18	209	154	8	152	52	85	152	13	105	153	209	10	247	29	96	55	34	132
230	80	8	83	131	2	249	231	109	379	81	67	30	316	22	39	38	321	243	20
127	10	420	7	760	13	119	27	63	368	207	205	142	117	286	97	20	91	108	
79	64	171	12	423	16	13	30	459	393	682	198	391	38	307	49	92	180	70	
94	60	268	185	103	118	241	504	67	1	37	133	64	69	46	71	35	71	163	

### پیوست 3. ارقام گردآوری شده برای نرخ ترک صف

در این قسمت، تعداد مشتریانی که از طریق سیستم نوبت دهی فراخوانی می شدند ولی در شعبه حضور نداشتند برای چهار خدمت دهنده 5، 3، 7 و 12 در 12 روز مختلف در طول مدت حدودی یک ساعت جمع آوری گشته و مقدار متوسط آن (حدود 20%) به عنوان نرخ ترک صف در نظر گرفته شده است.

Server \ Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean Value(%)
Server3	$\frac{1}{8}$	$\frac{4}{17}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{3}{14}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{3}{14}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{2}{10}$	20.6
Server5	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	18.3
Server7	$\frac{5}{23}$	$\frac{4}{22}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{2}{15}$	$\frac{3}{19}$	$\frac{6}{19}$	$\frac{3}{17}$	$\frac{4}{24}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{4}{25}$	$\frac{3}{16}$	19.2

Server12	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{6}{19}$	$\frac{4}{14}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{5}{17}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{3}{13}$	$\frac{4}{16}$	22.1
----------	---------------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	------

#### پیوست 4. ارقام گردآوری شده برای خدمتدهی به مشتریان عادی

در این بخش، بر اساس مشاهدات، خدمت‌دهندگان به سه دسته تقسیم شده‌اند و خدمت‌دهندگانی که توزیع خدمتدهی آنها با هم یکسان به نظر می‌رسید در یک دسته قرار گرفته‌اند. بر این اساس دو خدمت‌دهنده باجه 3 و 7 هر کدام توزیعی متفاوت را از آن خود کردند و داده‌های خدمت‌دهندگان 5 و 12 با هم تلفیق شد و توزیع بدست‌آمده برای آنها به سایر خدمت‌دهندگان شعبه نیز تعمیم داده شد.

Server 5,12									Server7								Server3			
290	213	43	115	209	108	62	170	235	10	115	569	190	24	297	62	300	285	40	232	
354	187	257	136	104	120	172	190	152	80	45	318	1040	273	115	146	105	30	583	440	
599	876	105	61	232	136	178	247	146	107	415	262	364	272	104	73	85	433	70	159	
325	254	181	1075	87	192	74	163	70	235	135	466	66	27	176	405	165	375	100		
625	311	305	300	120	511	77	541	237	300	130	585	190	191	104	11	90	116	170		
325	138	515	120	350	185	121	281	232	197	395	154	98	148	76	74	405	100	385		
80	228	166	150	588	250	548	240	470	123	255	159	525	26	70		170	60	75		
175	82	125	245	142	307	208	97	215	685	90	233	248	286	204		130	277	255		
425	75	253	101	141	240	526	24	265	135	255	100	93	112	116		685	77	106		
265	120	148	128	354	192	229	234		85	40	15	139	180	340	225	310	108			
120	81	334	95	50	429	183	441		130	328	314	315	228	20	355	165	485			
193	72	145	664	229	161	354	155		235	152	266	253	91	358	120	68	452			
382	332	221	460	116	306	507	502		55	95	734	60	79	47	100	290	299			
610	208	324	470	537	161	206	76		210	185	94	147	117	215	415	330	277			
275	145	99	60	133	141	281	78		300	95	595	42	437	215	25	118	140			
231	64	386	90	226	125	465	97		55	88	97	117	157	144	10	310	348			

#### پیوست 5. ارقام گردآوری شده برای خدمتدهی به مشتریان خاص

307	823	557	549	501	1087	199	28	984	1000	1597	271	436	8	495
649	972	1445	1171	287	802	567	566	1118	576	1125	982	762	676	906
1248	979	663	212	396	1748	120	86	182	252	598	77	428	834	127
979	1720	1037	946	549	514	316	983	490	994	737	705	1158	236	303
215	1532	1686	1183	37	1452	1075	1627	350	426	1328	594	495	768	34
797	1003	432	366	504	1057	693	1366	1185	955	598	909	542	955	749
315	22	1088	537	592	380	1108	465	339	412	1457	69	953	824	969
1111	152	1309	1147	177	423	591	515	407	1234	114	1110	245	211	

## پیوست 6. ارقام گردآوری شده برای نرخ پرداختن به کارهای متفرقه توسط خدمتدهندگان

برای اندازه گیری میزان این رخداد بدین ترتیب عمل شده است که در 12 روز مختلف در طول مدت نمونه گیری از خدمتدهی چهار سرور 3، 5، 7 و 12 مدت زمانهای چنین رخدادهایی زمانسنجی شده اند و هر بار نسبت آن بر طول مدت نمونه گیری ثبت شده است و با توجه به همگونی عملکرد خدمتدهندگان 2، 5، 9، 10، 12 و 16 میزان به دست آمده برای کارمند باجه های 5 و 12 به سایر افراد این گروه تعمیم داده شده است. در پایان مقدار متوسطی حدودی برای هر دسته محاسبه و به عنوان برآورد نرخ مذکور در نظر گرفته شده است.

Server Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean Value(%)
Server3	$\frac{15}{47}$	$\frac{20}{57}$	$\frac{16}{64}$	$\frac{19}{60}$	$\frac{15}{46}$	$\frac{11}{47}$	$\frac{13}{48}$	$\frac{15}{49}$	$\frac{17}{53}$	$\frac{20}{51}$	$\frac{16}{49}$	$\frac{19}{49}$	27.1
Server5	$\frac{9}{47}$	$\frac{12}{57}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{12}{60}$	$\frac{7}{46}$	$\frac{10}{47}$	$\frac{11}{48}$	$\frac{8}{49}$	$\frac{13}{53}$	$\frac{9}{51}$	$\frac{7}{49}$	$\frac{10}{49}$	19.4
Server7	$\frac{3}{47}$	$\frac{4}{57}$	$\frac{8}{64}$	$\frac{9}{60}$	$\frac{3}{46}$	$\frac{6}{47}$	$\frac{4}{48}$	$\frac{4}{49}$	$\frac{6}{53}$	$\frac{5}{51}$	$\frac{8}{49}$	$\frac{7}{49}$	10.7
Server12	$\frac{12}{47}$	$\frac{14}{57}$	$\frac{18}{64}$	$\frac{15}{60}$	$\frac{9}{46}$	$\frac{9}{47}$	$\frac{10}{48}$	$\frac{10}{49}$	$\frac{13}{53}$	$\frac{10}{51}$	$\frac{11}{49}$	$\frac{10}{49}$	22.5

## پیوست 7. ارقام گردآوری شده برای نرخ تمایل مشتریان ویژه به مراجعه به هر خدمت‌دهنده

در این قسمت، نسبتی از زمان تخصیص داده شده به مشتریان ویژه در هر باجه در طول مدت حدود یک ساعت و در 12 روز مختلف برای چهار خدمت‌دهنده 3، 5، 7 و 12 اندازه‌گیری شده است و با توجه به همگونی عملکرد باجه‌های 3 و 12 با هم، و تشابه عملکرد باجه‌های 2، 5، 9، 10 و 16، خدمت‌دهندگان از این نظر نیز به سه دسته تقسیم شده‌اند و میزان تمایل مشتریان ویژه برای مراجعه به کارمندان، به طور مشترک برای هر دسته برآورد شده است.

Server \ Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean Value(%)
Server3	$\frac{22}{47}$	$\frac{26}{57}$	$\frac{30}{64}$	$\frac{24}{60}$	$\frac{19}{46}$	$\frac{23}{47}$	$\frac{22}{48}$	$\frac{20}{49}$	$\frac{26}{53}$	$\frac{22}{51}$	$\frac{21}{49}$	$\frac{22}{49}$	44.7
Server5	$\frac{33}{47}$	$\frac{34}{57}$	$\frac{38}{64}$	$\frac{47}{60}$	$\frac{32}{46}$	$\frac{30}{47}$	$\frac{31}{48}$	$\frac{34}{49}$	$\frac{32}{53}$	$\frac{33}{51}$	$\frac{27}{49}$	$\frac{30}{49}$	64.7
Server7	$\frac{5}{47}$	$\frac{9}{57}$	$\frac{10}{64}$	$\frac{14}{60}$	$\frac{11}{46}$	$\frac{10}{47}$	$\frac{9}{48}$	$\frac{10}{49}$	$\frac{8}{53}$	$\frac{10}{51}$	$\frac{8}{49}$	$\frac{9}{49}$	18.3
Server12	$\frac{25}{47}$	$\frac{28}{57}$	$\frac{32}{64}$	$\frac{25}{60}$	$\frac{18}{46}$	$\frac{21}{47}$	$\frac{18}{48}$	$\frac{22}{49}$	$\frac{16}{53}$	$\frac{18}{51}$	$\frac{20}{49}$	$\frac{22}{49}$	42.6