



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی صنایع

عنوان گزارش : گزارش پروژه

نام درس : اصول شبیه سازی

نام استاد : دکتر محمد رنجبر

دانشجو :

امیرعلی باقرزاده بیوکی-9912743386

1.....	مقدمه
1.....	صورت سوال
1.....	فرض های اولیه مسئله
2.....	حالت های مساله
2.....	پیشامدها
3.....	پیشامد ورود مشتری نوع یک (اجاره کننده اره)
4.....	پیشامد ورود مشتری نوع دو (بازگرداننده اره)
5.....	پیشامد اتمام خدمت دهی نوع 1 توسط بتی
6.....	پیشامد اتمام خدمت دهی نوع 2 توسط بتی
7.....	پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط بتی
8.....	پیشامد اتمام خدمت دهی نوع 1 توسط دیوید
9.....	پیشامد اتمام خدمت دهی نوع 2 توسط دیوید
10.....	پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط دیوید
11.....	کد شبیه سازی
11.....	شرایط آغازین
12.....	سوال مطرح شده
14.....	روند صف مشتریان
14.....	میانگین صف مشتریان
14.....	تعداد مشتریان نوع 1 و 2
15.....	احتمال منتظر ماندن
15.....	تعداد مشتریانی که هر یک از خدمت دهنده ها خدمت دهی کرده اند
16.....	تکرار شبیه سازی
18.....	تجزیه و تحلیل داده های ورودی
21.....	تحلیل حساسیت

21.....	تحليل حساسيت تابع توزيع ورود
23.....	تحليل حساسيت تابع توزيع خدمت‌دهی بتي
26.....	تحليل حساسيت تابع توزيع خدمت‌دهی ديويډ
29.....	تحليل حساسيت مدت زمان خدمت‌دهی نوع 2
31.....	نتيجه گيري

مقدمه

در این گزارش به بررسی سوال 28 فصل 3 می‌پردازیم.

صورت سوال

شرکت وام ابزار در کار اجاره دادن اره‌های برقی است. مشتریان با آهنگ یک نفر در هر 30 ± 30 دقیقه برای اجاره اره برقی از راه می‌رسند. دیوید و بتی مشتریان را راه اندازی می‌کنند. دیوید می‌تواند یک اره برقی را در 4 ± 14 دقیقه اجاره دهد. اما برای بتی اینکار 10 ± 5 طول می‌کشد. مشتریانی که برای بازگرداندن اره وارد می‌شوند نیز با همان آهنگ مشتریان اجاره‌کننده اره وارد می‌شوند. به منظور اره برقی بازگردانیده شده دیوید یا بتی به مدت 2 دقیقه با مشتری وقت صرف می‌کنند. خدمت‌دهی براساس ظابطه به ترتیب ورود است. هرگاه هیچ مشتری نباشد یا بتی به تنهایی مشغول به خدمت‌دهی باشد دیوید به آماده‌سازی اره‌های بازگردانیده شده برای اجاره مجدد می‌پردازد. این نوع عملیات نگهداری 4 ± 6 دقیقه از وقت او و تمیز کردن آن 6 ± 10 دقیقه از وقت او را می‌گیرد. هرگاه دیوید مشغول نباشد به نگهداری و تمیز کردن اره بعدی می‌پردازد. با به پایان رسانیدن کارهای نگهداری و تعمیر یا تمیز کردن یک اره اگر یک مشتری یا مشتریانی در انتظار باشند دیوید خدمت‌دهی به آنها را آغاز می‌کند. بتی همواره برای خدمت‌دهی به مشتریان آمادگی دارد. عملیات سیستم را تحت این شرایط شبیه‌سازی کنید که در ساعت 8:00 صبح به صورت خالی شروع به کار کند در ساعت 6:00 بعدازظهر درها را ببندد ولی تا ساعت 7:00 بعدازظهر اره‌های برقی را برای اجاره‌دهی آماده کند. عمل نگهداری و تعمیر و تمیز کردن اره‌ها از ساعت 6:00 تا 7:00 بعدازظهر را دیوید و بتی با هم انجام می‌دهند. میانگین مدت تاخیر مشتریان اجاره‌کننده اره را برآورد کنید.

فرض‌های اولیه مسئله

1. تعداد موجودی اولیه اره‌ها بی‌نهایت است.
2. تعداد موجودی اره‌هایی که نیاز به نگهداری و تعمیر دارند بی‌نهایت است.
3. از ساعت 6 دیگر خدمت‌دهی به مشتری صورت نمی‌گیرد اما با توجه به گفته استاد اگر مشتری در صف باشد به آن خدمت داده می‌شود.
4. زمانی برای تمیز کردن اره توسط بتی ذکر نشده است. با توجه به خواسته سوال که مدت زمان انتظار مشتریان اجاره‌کننده است اهمیتی ندارد این قسمت و آن را با زمان ساخته شده برای دیوید در لحظه t برابر می‌گیریم.

حالت‌های مسئله

وضعیت بتی در زمان $t: LB(t) = 0, 1, -1$ (آزاد، 1 در حال خدمت دهی به مشتری، -1 در ساعت 6 تا 7، در حال نگهداری و تمیز کردن اره)

وضعیت دیوید در زمان $t: LD(t) = 0, 1, -1$ (آزاد، 1 در حال خدمت دهی به مشتری، -1 در حال نگهداری و تمیز کردن اره)

صف انتظار مشتریان در زمان $t: LQ(t)$

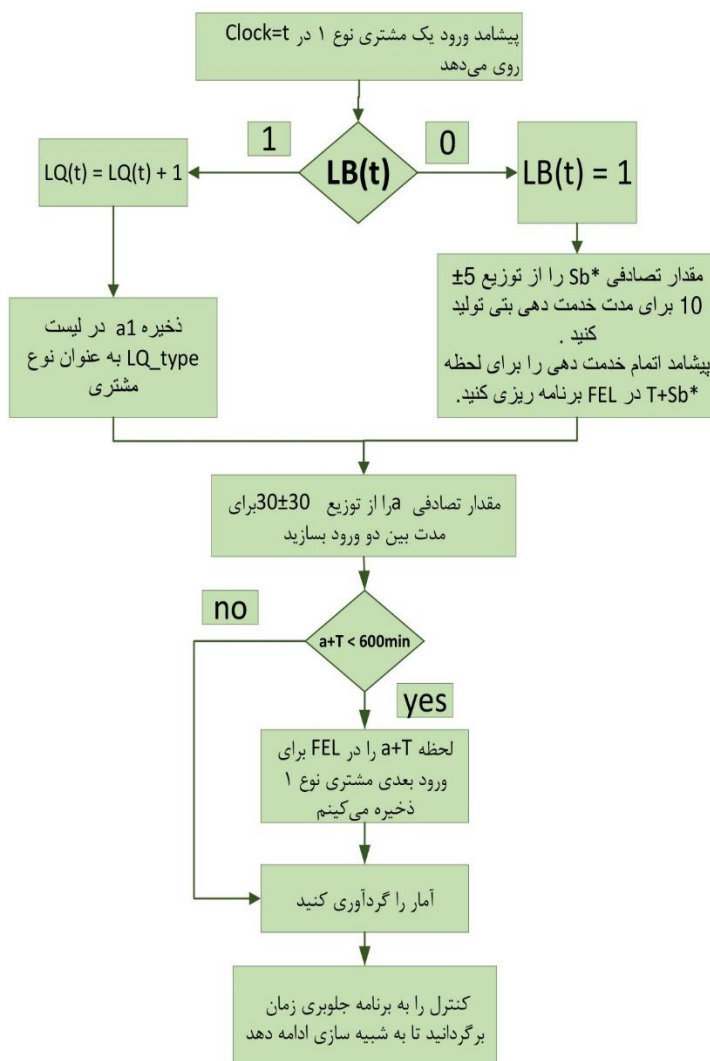
لیست نوع مشتری: LQ_type

نوع مشتری: $TC = 1, 2$ (مشتری نوع 1: اجاره کننده، مشتری نوع 2: بازگرداننده)

پیشامدها

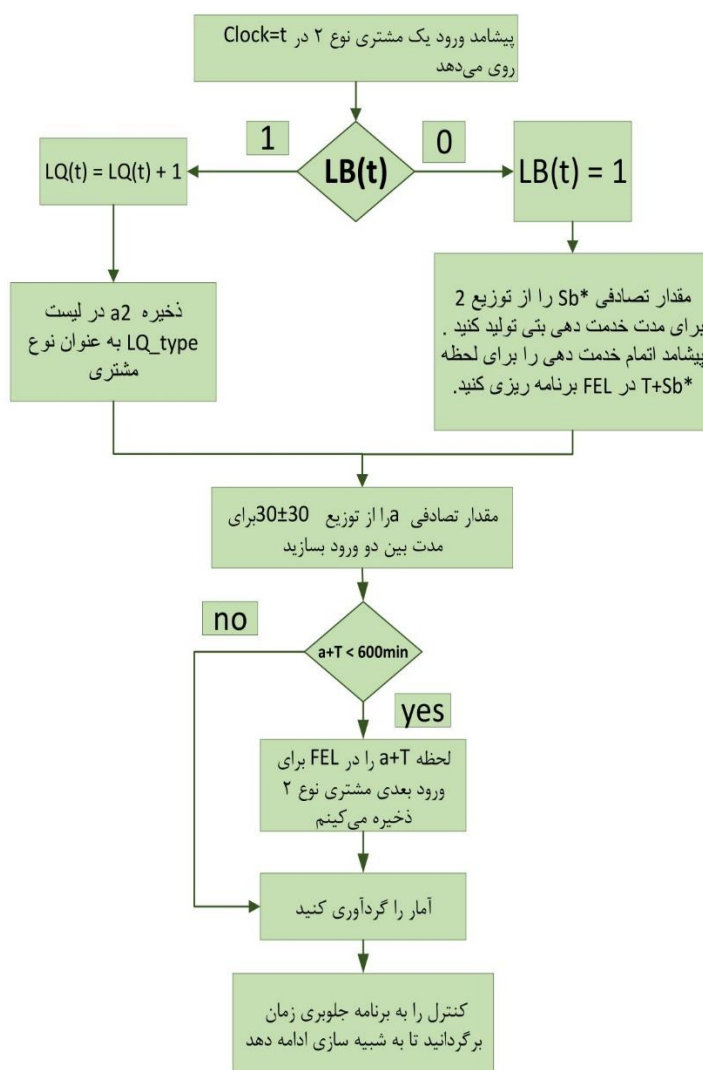
- پیشامد ورود مشتری نوع یک (اجاره کننده اره)
- پیشامد ورود مشتری نوع دو (بازگرداننده اره)
- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط بتی (اجاره اره)
- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط بتی (دریافت اره بازگرداننده شده)
- پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط بتی بعد از ساعت 6
- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط دیوید (اجاره اره)
- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط دیوید (دریافت اره بازگرداننده شده)
- پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط دیوید

پیشامد ورود مشتری نوع یک (اجاره کننده اره)



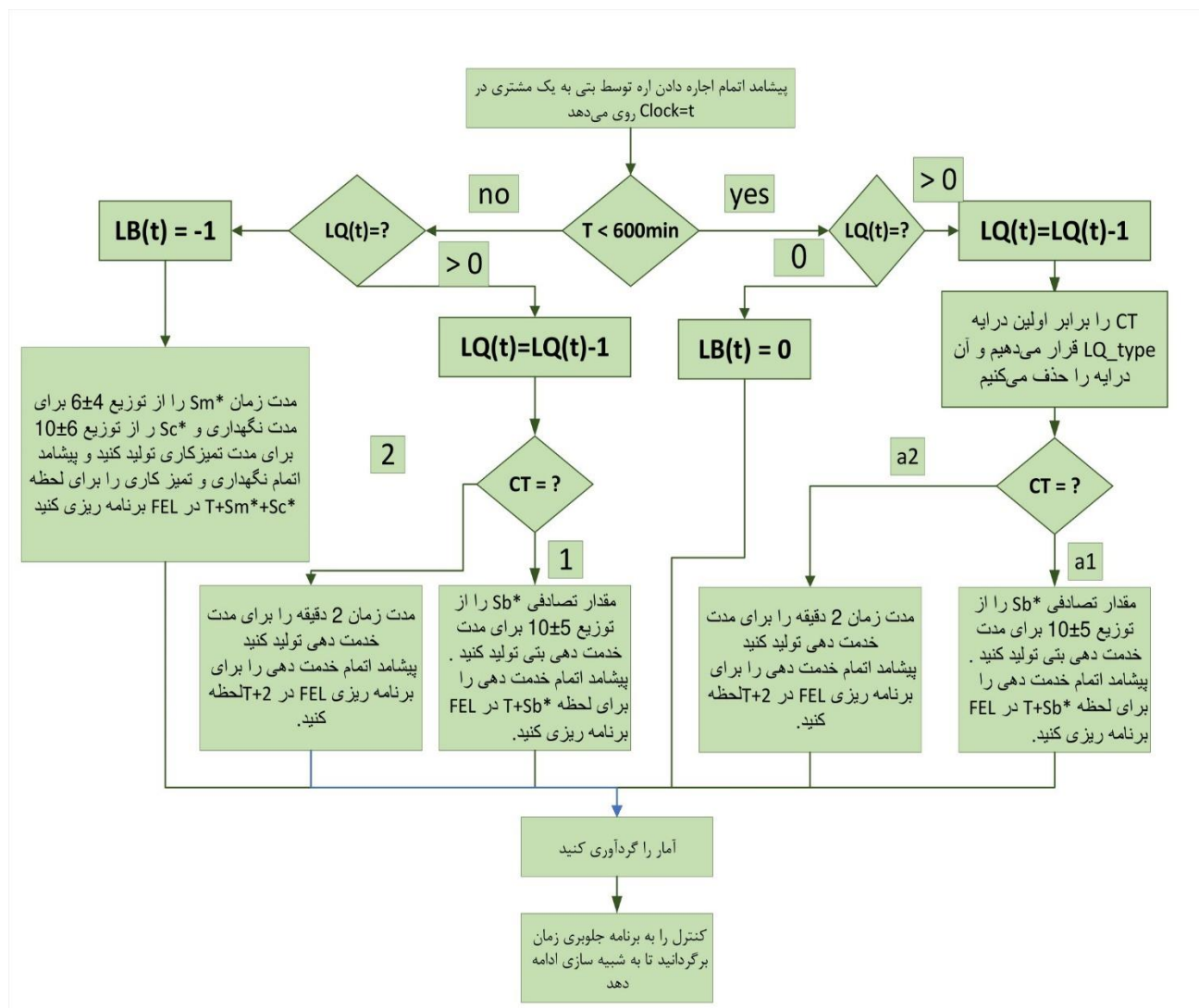
نمودار 1- پیشامد ورود مشتری نوع یک (اجاره کننده اره)

پیشامد ورود مشتری نوع دو (بازگرداننده اره)



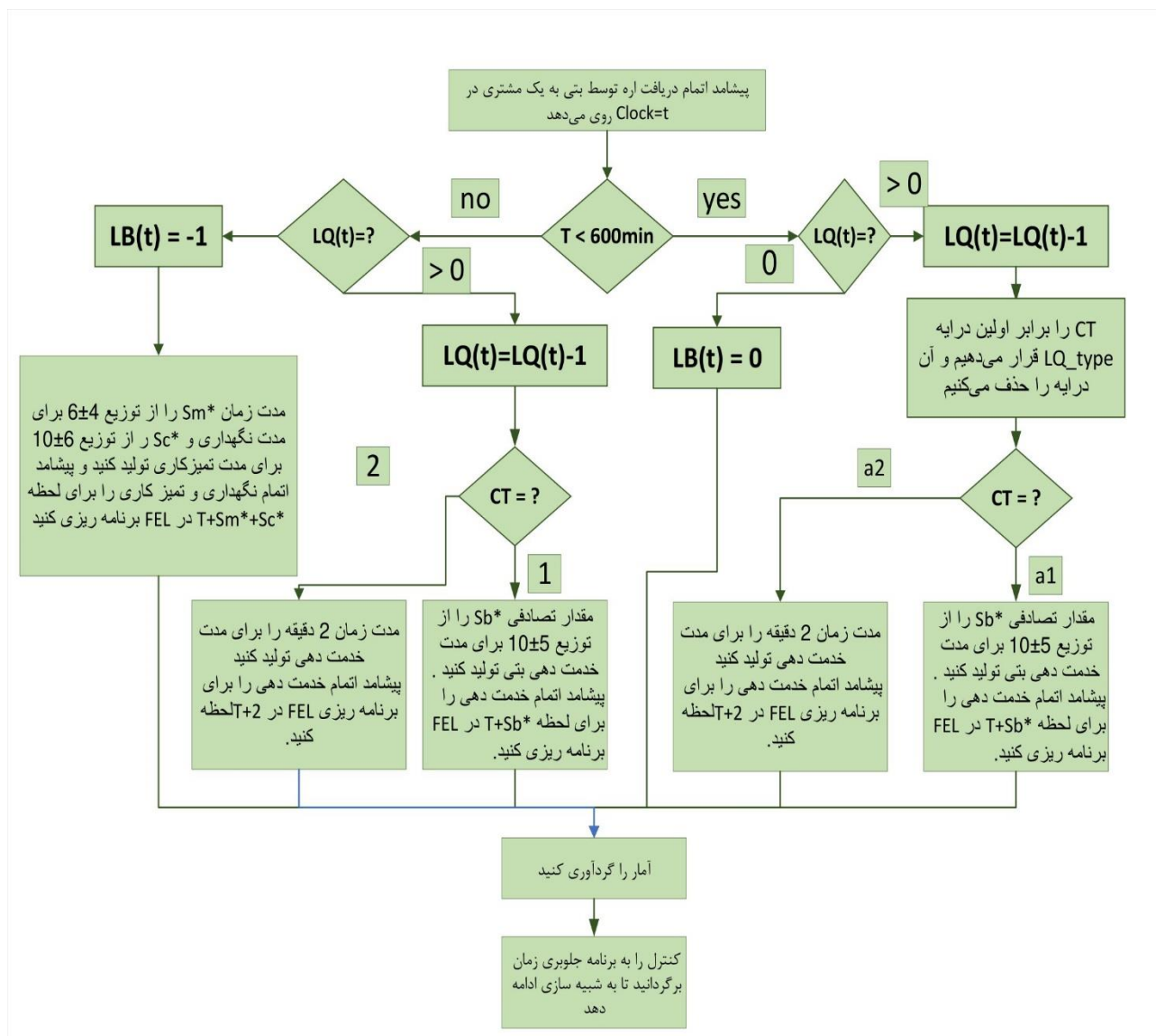
نمودار 2-پیشامد ورود مشتری نوع دو (بازگرداننده اره)

پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط بتی (اجاره اره)



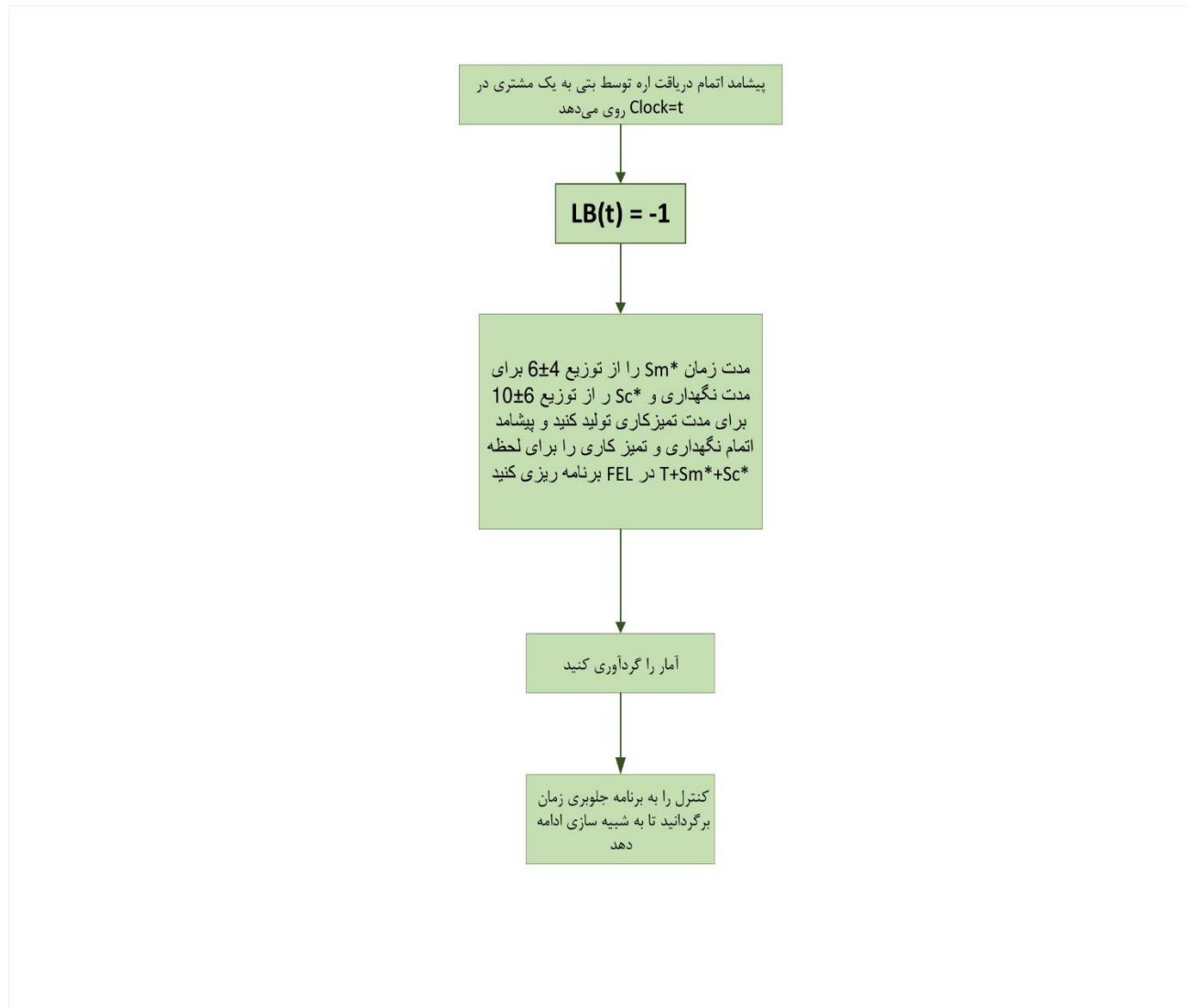
نمودار 3- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط بتی (اجاره اره)

پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط بتی (دریافت اِره بازگردانیده شده)



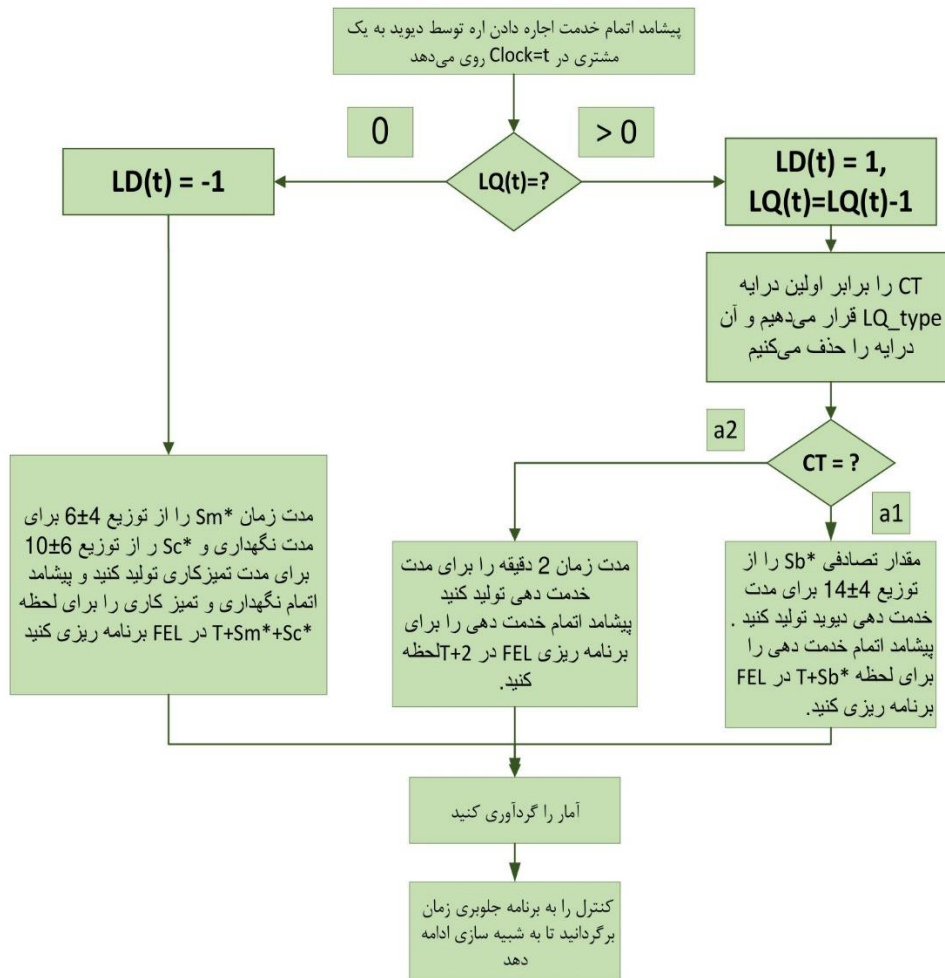
نمودار 4- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط بتی (دریافت اِره بازگردانیده شده)

پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط بتی بعد از ساعت 6



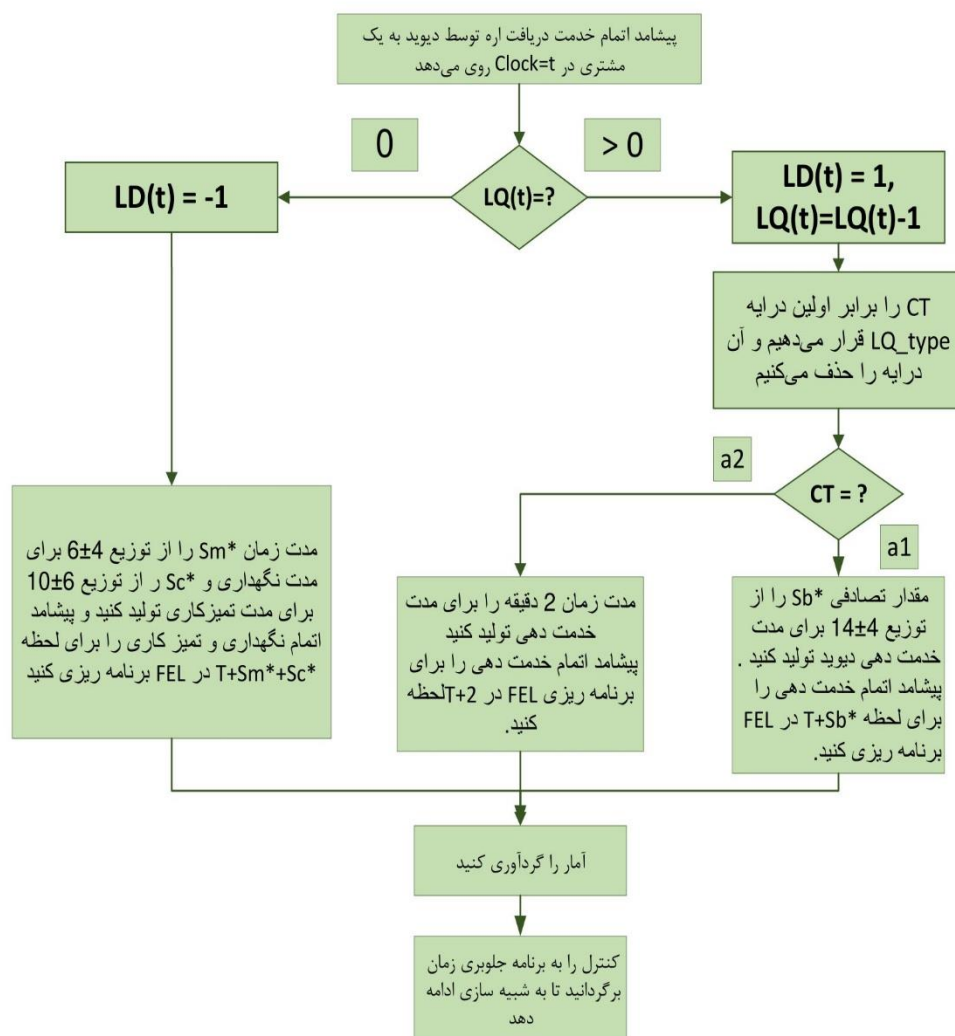
نمودار 5- پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط بتی بعد از ساعت 6

پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط دیوید (اجاره اره)



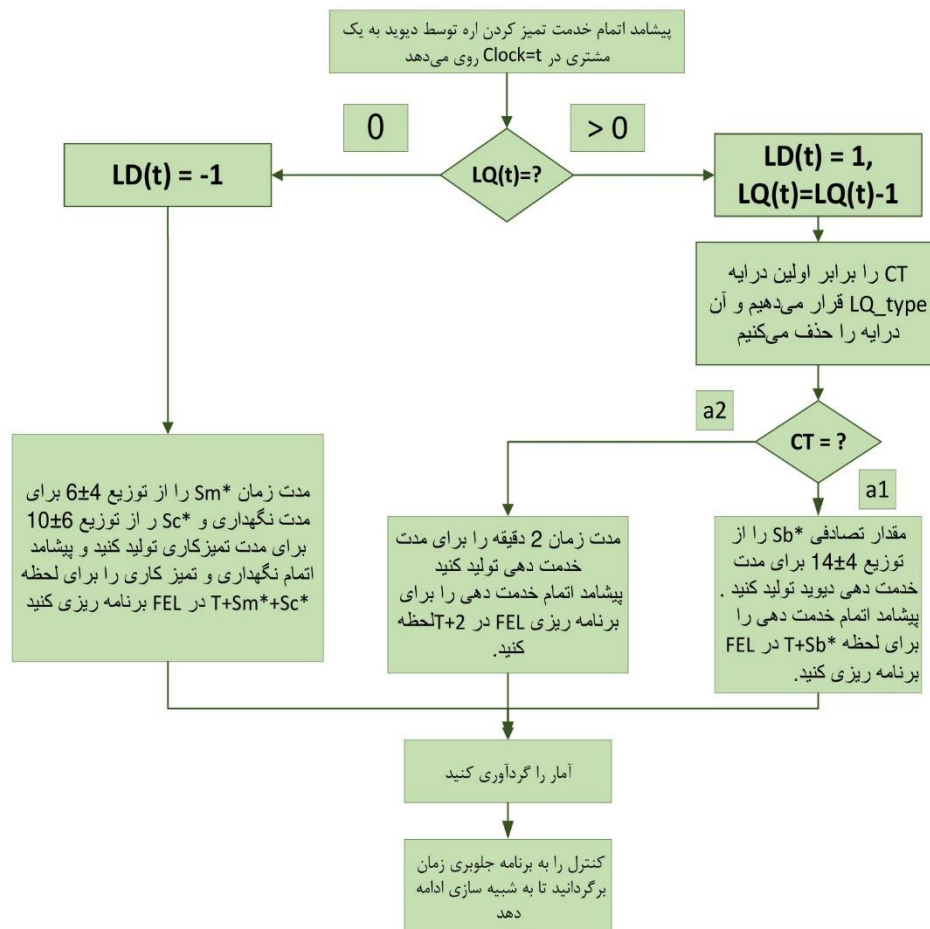
نمودار 6- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع یک توسط دیوید (اجاره اره)

پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط دیوید (دریافت ا ره بازگردانیده شده)



نمودار 7- پیشامد اتمام خدمت دهی نوع دو توسط دیوید (دریافت ا ره بازگردانیده شده)

پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط دیوید



نمودار 8- پیشامد اتمام تمیز کردن اره توسط دیوید

کد شبیه‌سازی

در ابتدا کتابخانه‌های لازم را فراخوانی کردیم و سپس پارامترها را تعریف کردیم و شرایط اولیه را به FEL اضافه کردیم. در ادامه به تعریف توابع پیشامدها پرداختیم که به ترتیب نمودارهای بالا می‌باشد. سپس قلب شبیه‌سازی را تعریف نموده و شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. سپس نقطه پایانی شبیه‌سازی را به لیست‌های موجود اضافه کرده و به خواسته‌های مطرح شده پرداختیم. (گزارش ذکر شده با استفاده از seed(100) می‌باشد)

در صورت سوال مدت زمان کاری را از ساعت 8 صبح تا 6 بعدازظهر تعریف کرده‌است و بعد از آن بتی و دیوید به تمیز کردن اره می‌پردازند. در نتیجه ما مدت شبیه‌سازی را 10 ساعت برای خدمت‌دهی و یک ساعت نیز برای تمیز کردن اره در نظر گرفته ایم که جمعاً 11 ساعت یا 660 دقیقه می‌باشد.

شرایط آغازین مسئله

در ابتدا برای آغاز شبیه‌سازی و استفاده از توابع ما نیاز به ورود مشتری در لحظه 0 داریم. حال با توجه به اینکه دو نوع مشتری داریم برای اینکه ورود مشتریان به صورت کاملاً تصادفی باشد، با ساخت یک عدد تصادفی اینکار را انجام داده‌ایم و ورود مشتری نوع دیگر را در لحظه 1 برنامه‌ریزی کرده‌ایم. همچنین با توجه به اینکه بتی نسبت به دیوید در خدمت‌دهی به مشتریان ارجحیت دارد بتی به خدمت‌دهی به مشتری می‌پردازد و دیوید نیز به

```
# arrival of first customer
random_num = np.random.random()
if random_num < 0.5:
    FEL.append((0, 'a1'))
    FEL.append((1, 'a2'))
else:
    FEL.append((0, 'a2'))
    FEL.append((1, 'a1'))
# starting cleaning saw
FEL.append((0, 'sd'))
```

تصویر 1- شرط اولیه آغاز شبیه‌سازی

سوال مطرح شده

در این مسئله ما به دنبال آن هستیم که میانگین انتظار مشتریان نوع یک یا اجاره‌کننده اره را محاسبه کنیم. به این منظور، در ابتدا ما نیازمند آن هستیم تا تعداد مشتریان نوع یک را محاسبه کنیم. برای همین در متغیرهای اولیه که تعریف شده، یک متغیر `customers_1` قرار داده شده است تا بعد از ورود هر مشتری نوع یک به آن مقدار 1 اضافه می‌شود.

همچنین برای اینکه مدت انتظار مشتریان نوع یک را محاسبه کنیم دو لیست `start_time` و `finish_time` تعریف کردیم که بعد از ورود هر مشتری نوع یک اگر مشتری وارد صف شد آن لحظه را در `start_time` ذخیره می‌کنیم. حال پس از اتمام خدمت‌دهی توسط دیوید و بتی وقتی صف چک می‌شود اگر مشتری در صف و نوبتش رسیده باشد، `customer_type` (CT) آن چک می‌شود و اگر مشتری نوع 1 باشد، حال آن لحظه را در `finish_time` ذخیره می‌کنیم. پس از اتمام شبیه‌سازی، به خاطر اینکه تمامی مشتریان خدمت داده می‌شوند پس طول این دو لیست با هم برابر است و اختلاف درایه‌های آنها با اندیس‌های مشترک مدت زمان انتظار مشتریان را به ما می‌دهد. حال این اختلاف‌ها در لیست `delay_time` ذخیره کرده و از آنها میانگین می‌گیریم. توضیحات داده شده در کد به صورت زیر است.

```
def arrival_type_1():
    global FEL, current_time, customers_1, start_time, finish_time, LB, LD, LQ, LQ_type
    customers_1 += 1
    between_arrival_time_1 = np.random.uniform(0,60)
    if (current_time + between_arrival_time_1) < 600:
        FEL.append((current_time + between_arrival_time_1, 'a1'))
        FEL.sort()
        if LB == 0:
            LB = 1
            renting_time_Betty = np.random.uniform(5,15)
            FEL.append((current_time + renting_time_Betty, 'rb1'))
            FEL.sort()
        elif LB == 1:
            LQ += 1
            LQ_type.append('a1')
    start_time.append(current_time)
```

تصویر 2- تابع ورود مشتری نوع 1

```
def comp_rent_Betty():
    global FEL, current_time, customers_1, start_time, finish_time, LB, LD, LQ, LQ_type
    if current_time < 600:
        if LQ > 0:
            LQ -= 1
            CT = LQ_type.pop(0)
            if CT == 'a1':
                finish_time.append(current_time)
                renting_time_Betty = np.random.uniform(5,15)
                FEL.append((current_time + renting_time_Betty, 'rb1'))
                FEL.sort()
```

تصویر 3- یکی از توابع اتمام خدمت‌دهی

```
length_time = len(finish_time)
for i in range(length_time):
    delay = finish_time[i] - start_time[i]
    delay_time.append(delay)
print(delay_time)
print("Count of saw rental customers is:", customers_1)
```

تصویر 4- محاسبه زمان‌های انتظار مشتریان نوع 1

```
[1, 12.424359475809432, 10.956175695386701, 0.20369323835903685, 7.249297556145422, 2.3096619084882377]
Count of saw rental customers is: 21
```

تصویر 5- خروجی تصویر 4

```
sum_delay_time = np.sum(delay_time)
avg_delay_time = sum_delay_time / customers_1
print("The average delay period of saw rental customers is:", avg_delay_time)
```

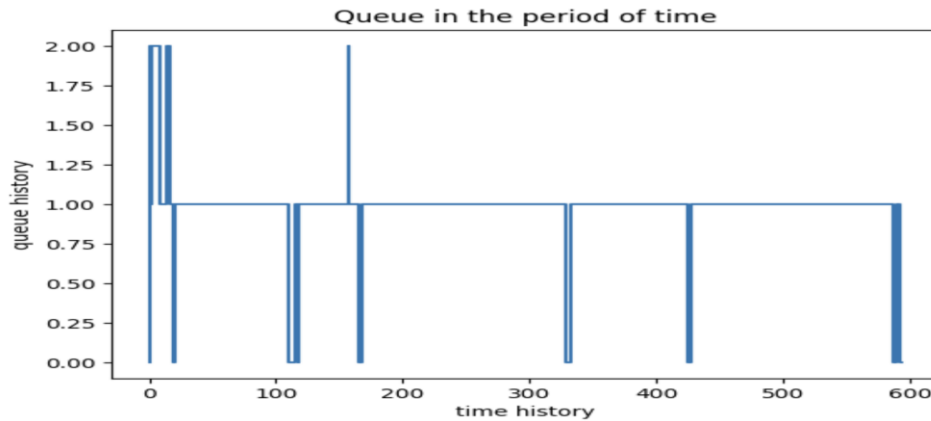
تصویر 6- محاسبه میانگین مدت زمان انتظار مشتریان نوع 1

```
The average delay period of saw rental customers is: 1.6258660892470869
```

تصویر 7- خروجی نهایی (میانگین مدت انتظار مشتریان)

روند صف مشتریان در دوره شبیه‌سازی

روند صف مشتریان در دوره شبیه‌سازی به صورت زیر است.



تصویر 8- روند صف مشتریان در دوره شبیه‌سازی

میانگین صف مشتریان

میانگین صف مشتریان در دوره شبیه‌سازی به صورت زیر است.

```
length_LQ = len(time_history)
sum_LQ = 0
for i in range (length_LQ-1):
    sum_LQ += (time_history[i+1]-time_history[i])*queue_history[i]
average_LQ = sum_LQ / 600
print("average of LQ is:",average_LQ)
```

✓ 0.4s

average of LQ is: 0.10294871292317903

تصویر 9- میانگین صف مشتریان

تعداد مشتریان نوع 1 و نوع 2

```
print("count of customer type 1:",customers_1)
print("count of customer type 2:",customers_2)
```

✓ 0.3s

count of customer type 1: 21
count of customer type 2: 19

تصویر 10- تعداد مشتریان نوع 1 و 2

احتمال منتظر ماندن مشتری (ورود به صف)

هر جا که مشتری وارد صف شد به تعداد مشتریانی که منتظر خدمت‌دهی شده‌اند یک واحد اضافه می‌شود و در نهایت نسبت به کل مشتریان می‌سنجیم.

```
p_waiting = waiting_customer / (customers_1 + customers_2)
print("Probability of waiting customer:", p_waiting)
print("Probability of being serviced on time:", 1-p_waiting)
```

✓ 0.4s

```
Probability of waiting customer: 0.3
Probability of being serviced on time: 0.7
```

تصویر 11- احتمال منتظر ماندن مشتری

تعداد مشتریانی که هر یک از خدمت‌دهنده‌ها خدمت‌دهی کرده‌اند.

تعداد مشتریانی که هر یک از سرورها خدمت‌دهی کرده‌اند به شرح زیر است.

```
print("Number of customers of Betty:", Betty_customer)
print("Number of customers of David:", David_customer)
Betty_customer + David_customer == customers_1 + customers_2
```

✓ 0.9s

```
Number of customers of Betty: 37
Number of customers of David: 3

True
```

تصویر 12- تعداد مشتریانی که هر خدمت‌دهنده رسیدگی کرده است

تکرار شبیه‌سازی

در این قسمت ما شبیه سازی را به تعداد 50، 100 و 150 بار دوباره سازی کرده ایم.

```
after 50 iteration:
average of customer 1: 20.54
average of customer 2: 20.68
average of Betty's customer: 37.5
average of David's customer: 3.72
average of queue over 50 iteration: 0.08412215499362613
average of delay time over 50 iteration: 0.807351102229326
average of probability of waiting customer : 0.29480036518265684
average of probability of being serviced on time : 0.7051996348173432
```

تصویر 13-50 بار دوباره‌سازی شبیه‌سازی با seed 100

```
after 100 iteration:
average of customer 1: 20.8
average of customer 2: 20.86
average of Betty's customer: 37.76
average of David's customer: 3.9
average of queue over 100 iteration: 0.08746160615403877
average of delay time over 100 iteration: 0.823117567251269
average of probability of waiting customer : 0.30051855272265604
average of probability of being serviced on time : 0.699481447277344
```

تصویر 14-100 بار دوباره‌سازی شبیه‌سازی با seed 100

```
after 150 iteration:
average of customer 1: 20.64666666666667
average of customer 2: 20.72
average of Betty's customer: 37.55333333333335
average of David's customer: 3.813333333333335
average of queue over 150 iteration: 0.0864226902614535
average of delay time over 150 iteration: 0.8312769169444346
average of probability of waiting customer : 0.2995587184757178
average of probability of being serviced on time : 0.7004412815242822
```

تصویر 15-150 بار دوباره سازی شبیه سازی با seed 100

این بار با seed(200) امتحان می کنیم.

```
after 50 iteration:
average of customer 1: 20.7
average of customer 2: 20.7
average of Betty's customer: 37.7
average of David's customer: 3.7
average of queue over 50 iteration: 0.08595795006798695
average of delay time over 50 iteration: 0.8490502858526047
average of probability of waiting customer : 0.2980129569619221
average of probability of being serviced on time : 0.7019870430380779
```

تصویر 16-50 بار دوباره سازی شبیه سازی با seed200

```
after 100 iteration:
average of customer 1: 21.01
average of customer 2: 20.64
average of Betty's customer: 37.43
average of David's customer: 4.22
average of queue over 100 iteration: 0.09341232917373724
average of delay time over 100 iteration: 0.9777561045572214
average of probability of waiting customer : 0.3146186420237469
average of probability of being serviced on time : 0.6853813579762531
```

تصویر 17-100 بار دوباره سازی شبیه سازی با seed200

```

after 150 iteration:
average of customer 1: 20.85333333333333
average of customer 2: 20.49333333333332
average of Betty's customer: 37.47333333333336
average of David's customer: 3.873333333333335
average of queue over 150 iteration: 0.09031556969307024
average of delay time over 150 iteration: 0.9238422938099624
average of probability of waiting customer : 0.31228958124425893
average of probability of being serviced on time : 0.687710418755741

```

تصویر 18-150 بار دوباره سازی شبیه سازی با seed200

تجزیه و تحلیل داده های ورودی

در این قسمت به مطالب فصل 9 می پردازیم.

شبیه سازی را با سید 100 و به تعداد 100 بار تکرار کردیم و تعداد مشتریانی که در طول یک روز وارد این سیستم می شوند (نوع یک و نوع 2) را در یک لیست ذخیره کردیم و سپس بررسی کردیم که آیا توزیع پواسون دارند یا خیر. برای این کار با کد پایتون نمودار هیستوگرام لیست های مشتری 1 را کشیدیم که در ادامه آورده شده است و همچنین خروجی لیست های مشتریان آورده شده است.

```

In [23]: runfile('C:/Users/mohmmadaminnajafi/Desktop/poisson dist.py', wdir='C:/Users/
mohmmadaminnajafi/Desktop')
customerlist1 is [21, 18, 24, 16, 22, 25, 23, 24, 22, 21, 20, 27, 23, 18, 20, 20, 19, 21, 24, 25, 24,
21, 21, 20, 20, 19, 19, 22, 16, 24, 23, 22, 16, 18, 23, 19, 21, 19, 20, 16, 23, 16, 22, 21, 16, 21,
20, 15, 20, 17, 28, 19, 19, 25, 23, 22, 32, 23, 17, 17, 21, 16, 20, 23, 20, 20, 24, 21, 21, 23, 19,
23, 26, 22, 20, 20, 19, 20, 23, 21, 23, 17, 20, 21, 24, 23, 21, 24, 22, 19, 20, 20, 20, 18, 21, 15,
18, 22, 19, 19]
customer_list_2 is: [19, 18, 25, 28, 18, 21, 24, 19, 18, 24, 21, 23, 25, 22, 25, 25, 17, 19, 21, 20,
17, 19, 22, 21, 23, 23, 19, 24, 21, 21, 21, 15, 22, 18, 21, 22, 21, 20, 16, 21, 20, 22, 18, 20, 20,
22, 16, 23, 15, 19, 17, 25, 20, 23, 24, 16, 20, 21, 19, 16, 24, 25, 16, 23, 23, 19, 22, 18, 24, 22,
17, 21, 19, 16, 23, 21, 21, 18, 23, 24, 22, 18, 19, 22, 19, 16, 26, 28, 22, 22, 21, 21, 22, 20, 22,
23, 25, 22, 20, 22]

```

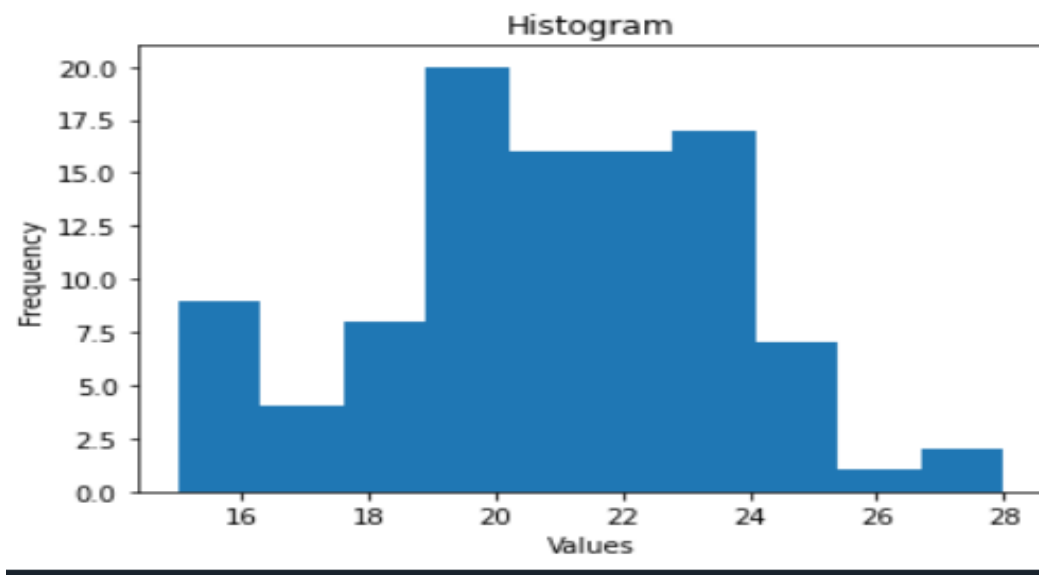
تصویر 19-داده های شبیه سازی شده

پس از بررسی های لازم متوجه می شویم چون $\chi^2_{\alpha, k-s-1}$

کمتر از مقدار اماره هست پس فرض صفر که پیروی از توزیع پواسون بود رد می شود و داده ها از توزیع پواسون پیروی نمی کنند.

برای مشتری 2 نیز همین روند را تکرار می کنیم.

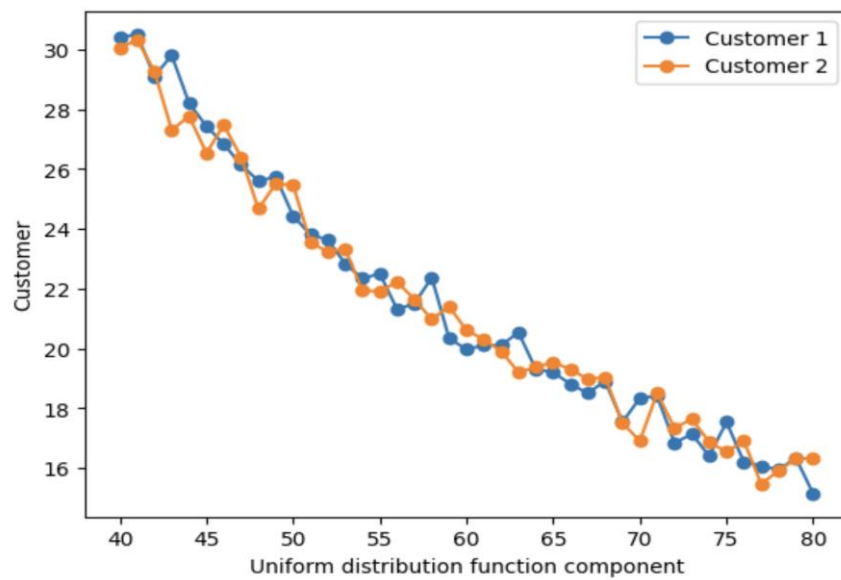
ابتدا نمودار هیستوگرام را می کشیم



تصویر 22-هیستوگرام داده های ورود مشتریان نوع 2

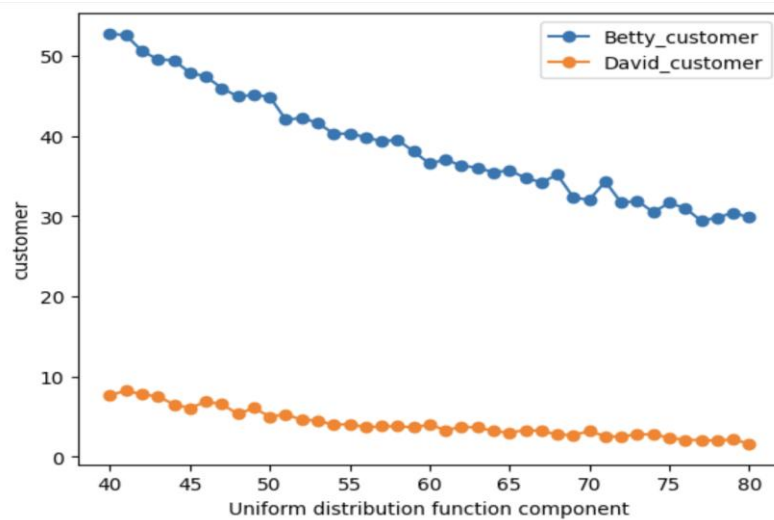
پس از بررسی هیستوگرام متوجه می شویم که توزیع مورد نظر شبیه پواسون نیست اما برای اطمینان بیشتر سراغ آزمون مربع کای می رویم.

(در ادامه عکس از محیط اکسل آورده شده است فایل اکسل نیز در فایل زیپ قرار گرفته است)



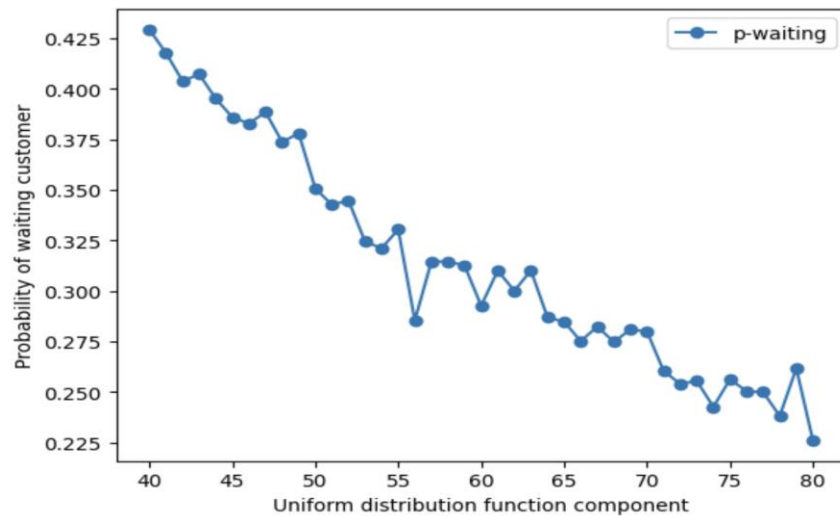
تصویر 24- روند تعداد مشتریان نوع 1 و 2 با تغییرات پارامتر توزیع ورود

همانطور که قابل مشاهده است با افزایش مولفه تابع توزیع ورود هر دو میانگین ورود مشتریان نوع 1 و 2 کاهش می یابد.



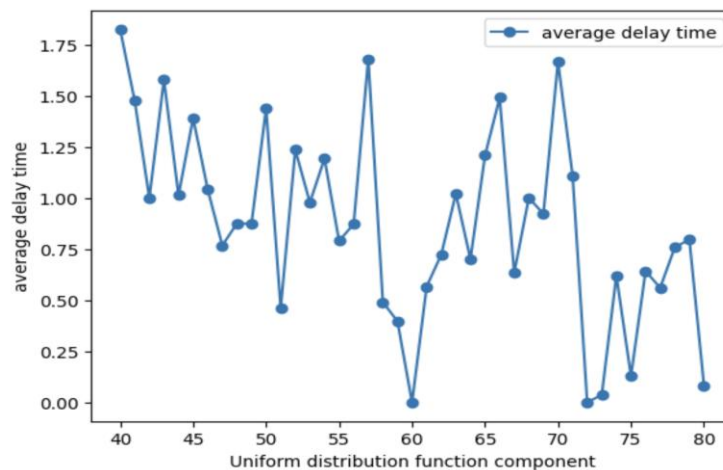
تصویر 25- روند تعداد مشتریان دیوید و بتی با تغییرات پارامتر توزیع ورود

همانطور که قابل مشاهده است با افزایش مولفه تابع توزیع ورود هر دو میانگین تعداد مشتریان بتی و دیوید کاهش می یابد چون تعداد ورود مشتریان کم شده است.



تصویر 26- روند احتمال در صف رفتن مشتریان با تغییرات پارامتر توزیع ورود

همانطور که قابل مشاهده است با افزایش مولفه تابع توزیع ورود احتمال وارد صف شدن مشتری و به انتظار نشستن آن از 0.425 به 0.225 کاهش می‌یابد.

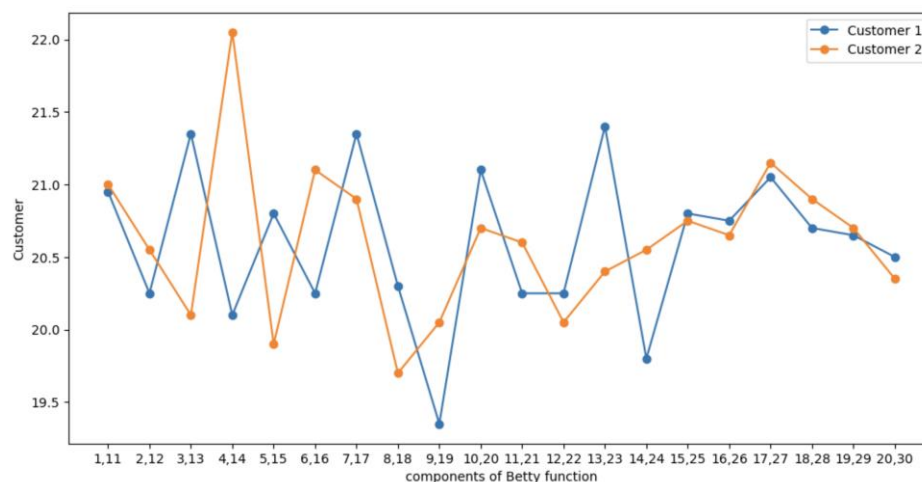


تصویر 27- روند میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 در صف با تغییرات پارامتر توزیع ورود

همانطور که قابل مشاهده است با افزایش مولفه تابع توزیع ورود، میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 با اینکه نوسانات زیادی دارد روند کاهشی دارد و به 0 نزدیک می‌شود.

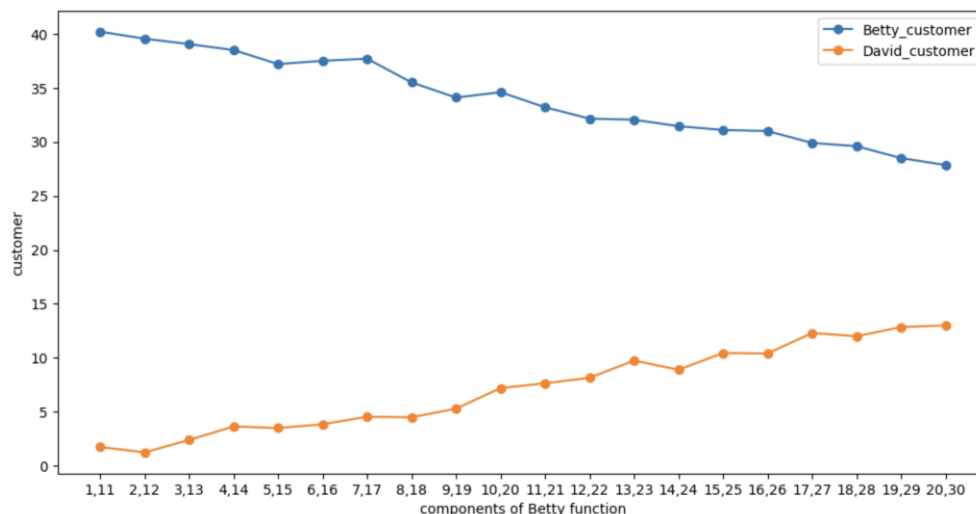
تحلیل حساسیت تابع توزیع خدمت‌دهی بتی

در این قسمت به تغییرات تابع توزیع خدمت‌دهی بتی می‌پردازیم. محدوده تغییرات مولفه‌های توزیع یکنواخت را از (1 و 11) و (12 و 20) و ... (30 و 20) قرار دادیم و نتایج به صورت زیر است.



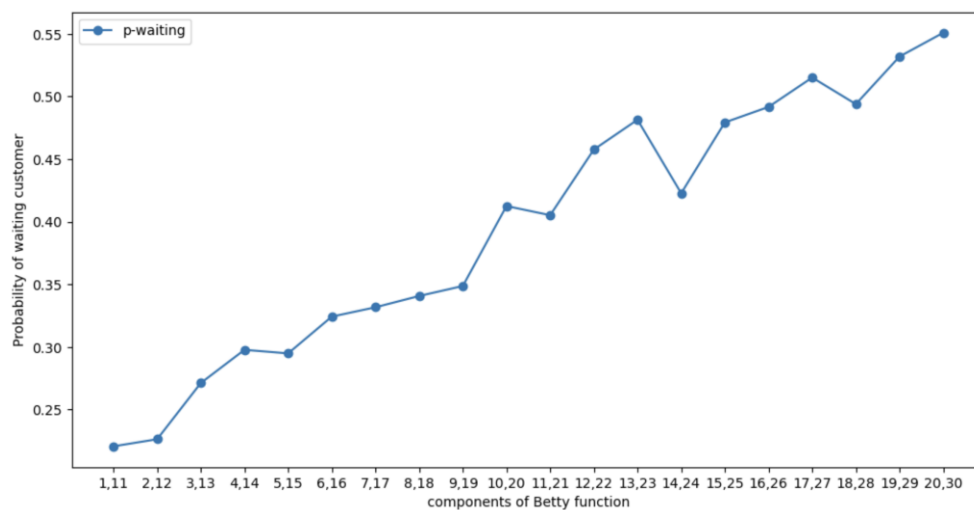
تصویر 28- روند تعداد مشتریان نوع 1 و 2 پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی بتی

همانطور که مشخص است و انتظار داشتیم هیچ تاثیری بر نرخ ورود مشتریان ندارد و باید تاثیر آن بیشتر در مشتریان دیوید و بتی بررسی شود که انتظار می‌رود تعداد مشتریان بتی روندی کاهشی و مشتریان دیوید روندی افزایشی داشته باشد.



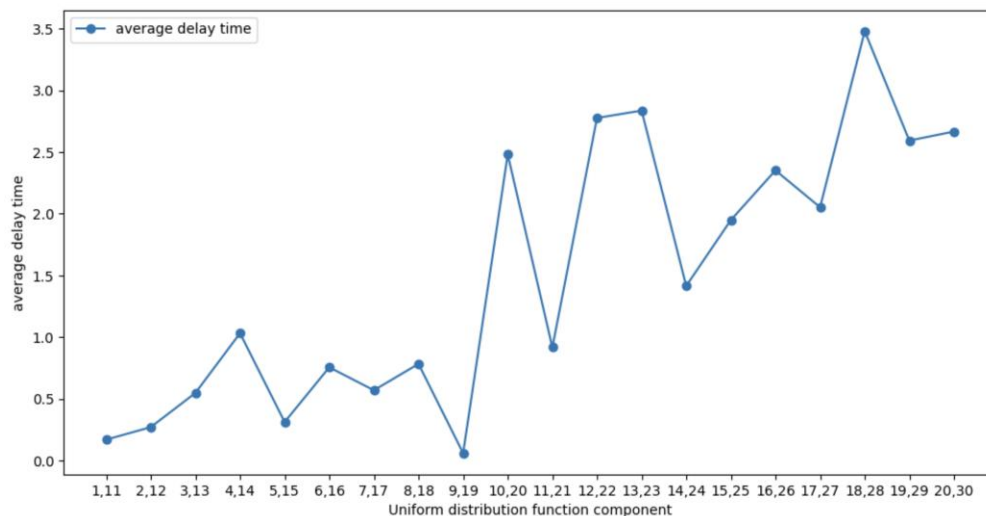
تصویر 29- روند تعداد مشتریان دیوید و بتی پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی بتی

مشتریان بتی روند کاهشی و مشتریان دیوید روندی افزایشی داشته است و مشتریان دیوید از کمتر از 3 به 13 رسیده است که شاهد بیش از 4 برابر شدن مشتریان دیوید هستیم. مشتریان بتی نیز کاهشی نزدیک 12 نفر داشته اند.



تصویر 30- روند احتمال در صف رفتن مشتریان پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی بتی

از آنجایی که در سیستم اولیه بیشتر مشتریان را بتی خدمت‌دهی می‌کرد، پس از نقطه 15 و 5 روند نمودار افزایشی است و با افزایش زمان خدمت‌دهی بتی مشتریان بیشتری در صف منتظر می‌مانند. اگر شرایط اولیه مسئله را در نظر داشته باشیم، از 30 درصد به 55 درصد افزایش یافته است.

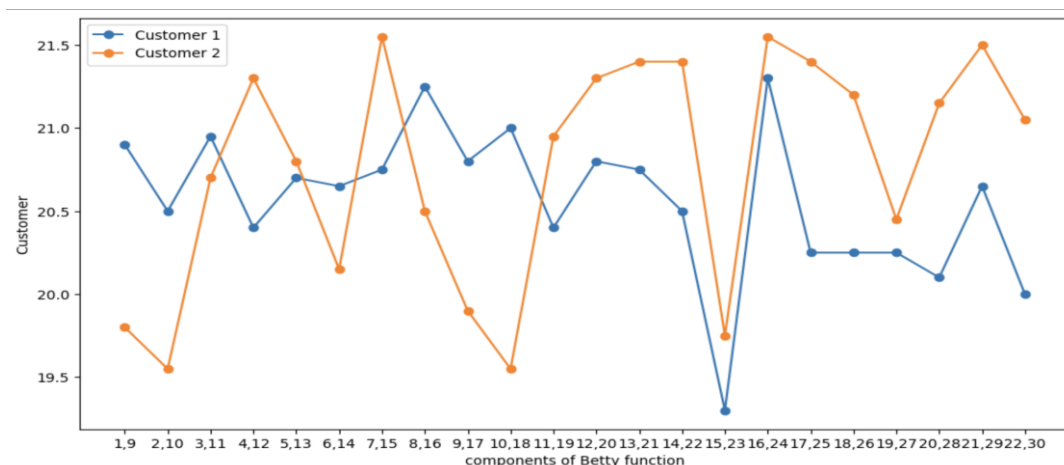


تصویر 31- روند میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 در صف پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی بتی

همانطور که در تصویر می‌بینید روند احتمال وارد صف شدن افزایشی بود میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 نیز افزایشی است و از نزدیک های 0 دقیقه میانگین انتظار مشتریان نوع 1 به 3 دقیقه رسیده است. به طور کلی افزایش زمان خدمت‌دهی بتی باعث تغییرات منفی در سیستم می‌شود و بهبودی حاصل نخواهد شد.

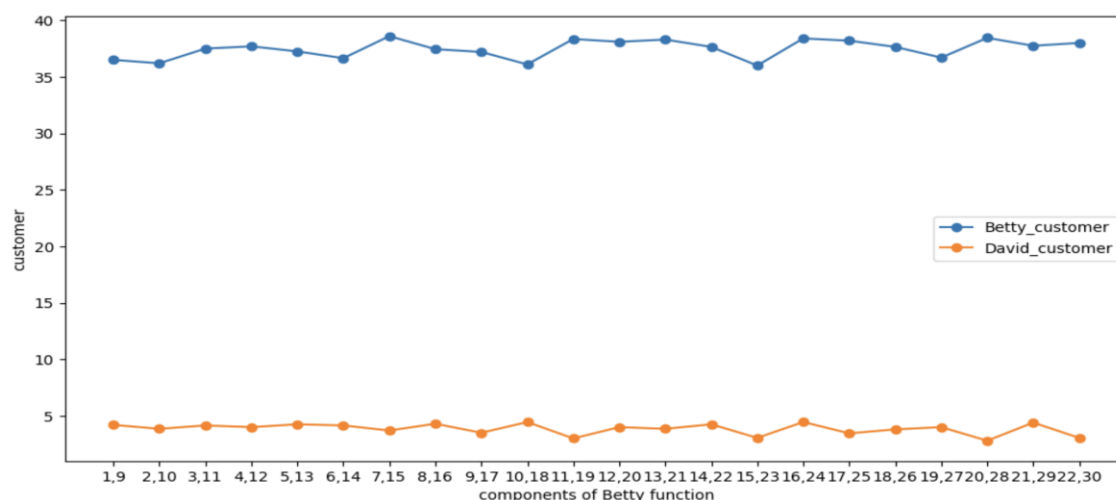
تحلیل حساسیت تابع توزیع خدمت‌دهی دیوید

در این قسمت به تحلیل حساسیت خدمت‌دهی دیوید می‌پردازیم. تابع توزیع یکنواخت خدمت‌دهی دیوید را به صورت (9 و 1) و... (30 و 22) تغییر می‌دهیم و نتایج زیر صورت می‌گیرد.



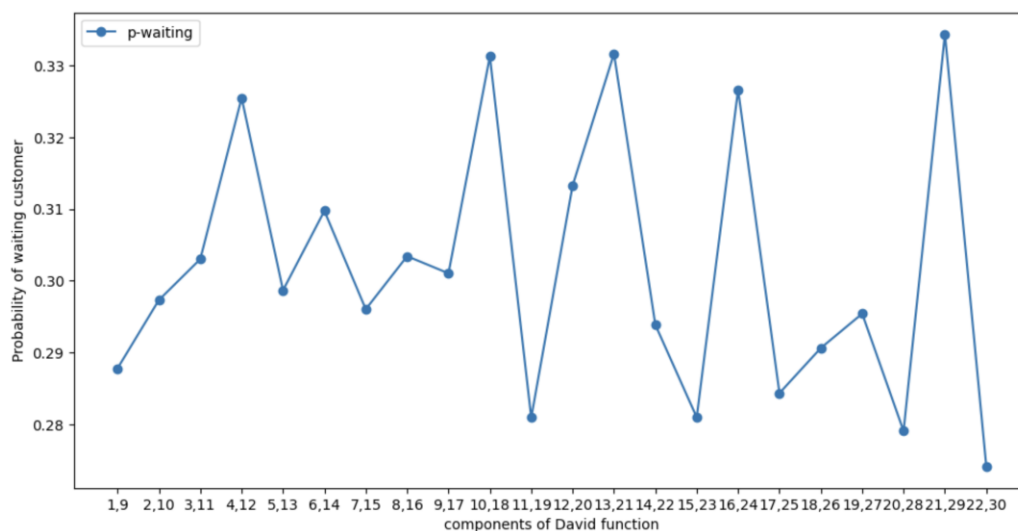
تصویر 33- روند تعداد مشتریان نوع 1 و 2 پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت‌دهی دیوید

همانطور که مشخص است و انتظار داشتیم هیچ تاثیری بر نرخ ورود مشتریان ندارد و باید تاثیر آن بیشتر در مشتریان دیوید و بتی بررسی شود که انتظار می‌رود تعداد مشتریان دیوید روندی کاهشی و مشتریان بتی روندی افزایشی داشته باشد.



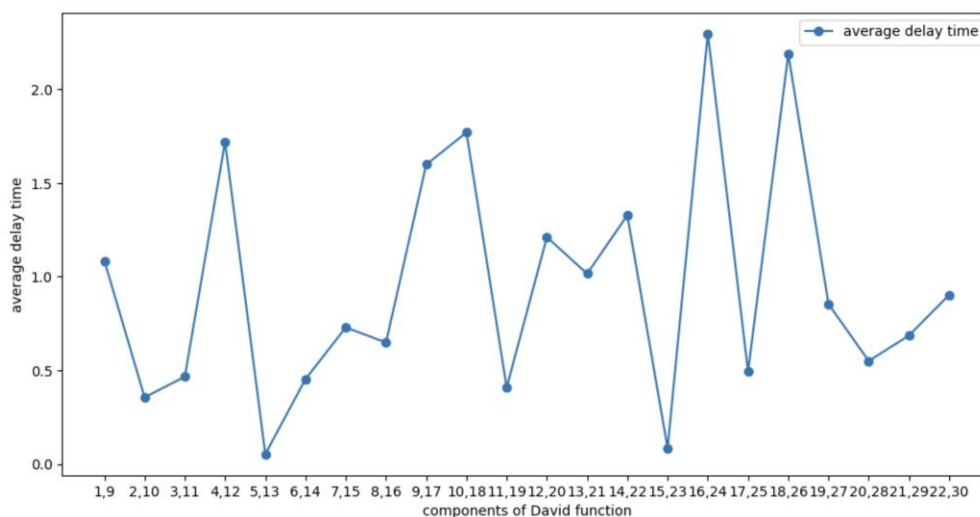
تصویر 34- روند تعداد مشتریان دیوید و بتی پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت‌دهی دیوید

مشتریان دیوید روند کاهشی و مشتریان بتی روندی افزایشی داشته است و مشتریان دیوید از 4 به حدود 2 مشتری رسیده است.



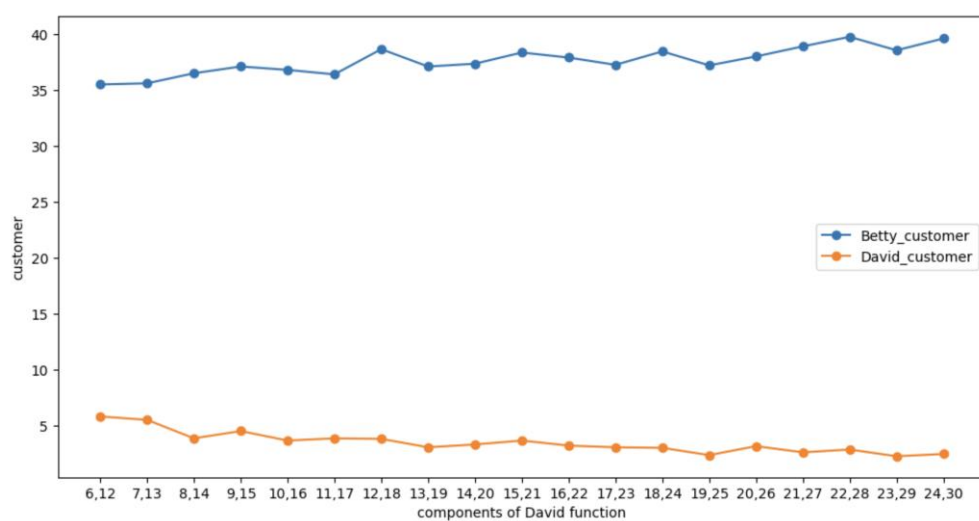
تصویر 30- روند احتمال در صف رفتن مشتریان پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی دیوید

از آنجایی که در سیستم اولیه بیشتر مشتریان را بتی خدمت دهی می کرد و دیوید نقش کمتری داشت تاثیر زیادی بر احتمال ورود به صف مشتریان نگذاشته است و یک روند نوسانی را شاهد هستیم.



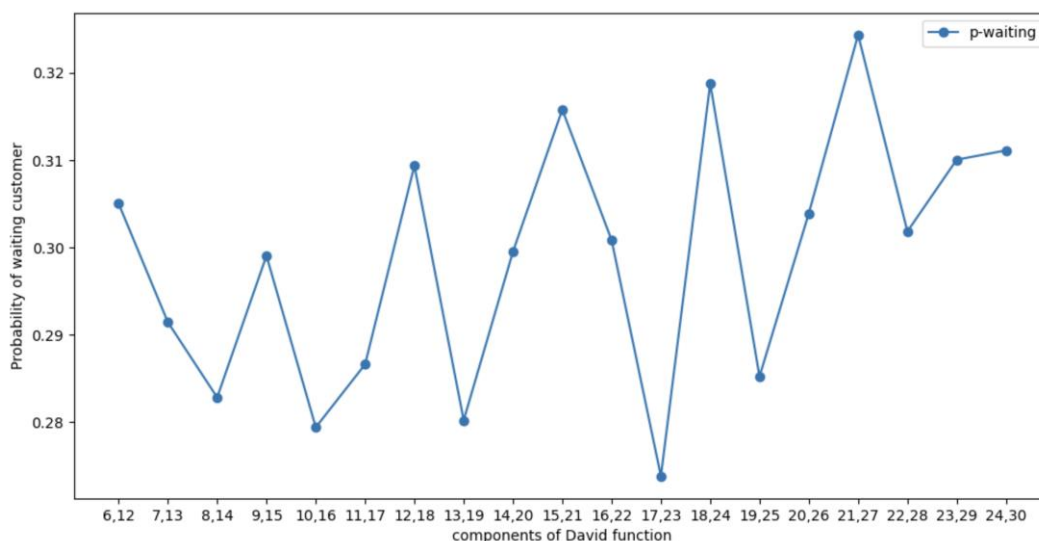
تصویر 31- روند میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 در صف پس از تغییرات پارامترهای توزیع خدمت دهی دیوید

همانطور که در تصویر می بینید روند خاصی برای احتمال وارد صف شدن وجود ندارد. نتایج طبق انتظار بود چون دیوید نقش خاصی در خدمت دهی به مشتریان ایفا نمی کرد. اما می توان با تغییر در مدت تمیز کردن اره نیز سیستم را بررسی کرد. مدت زمان نگهداری اره از توزیع یکنواخت [2,10] و مدت زمان تمیز کردن اره از توزیع یکنواخت [4,16] ساخته می شد. حال می توان این را در نظر گرفت که مدت زمان هر دو کار را می توان از توزیع یکنواخت [6,26] ساخت. حال با تغییر این مدت روند سیستم را بررسی می کنیم. حال این مدت را به صورت توزیع های یکنواخت (6,12), (7,13), ..., (24,30) در نظر می گیریم.



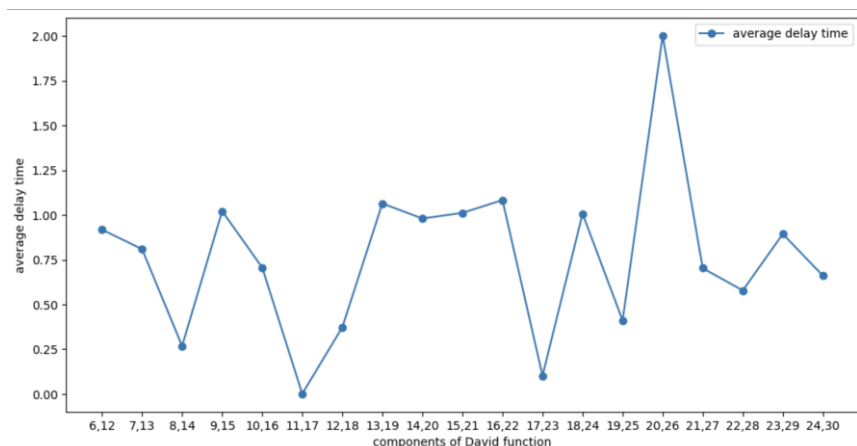
تصویر 34- روند تعداد مشتریان دیوید و بتی پس از تغییرات پارامترهای توزیع تمیز کردن اره توسط دیوید

هرچه از راست به چپ می‌آییم مدت زمان تمیز کردن افزایش یافته و تعداد مشتریان دیوید کاهش می‌یابد و مشتریان بتی افزایش می‌یابد. مشتریان دیوید از 6 به 2 می‌رسد و مشتریان بتی از 35 به 40 می‌رسند.



تصویر 35- روند احتمال در صف رفتن مشتریان پس از تغییرات پارامترهای توزیع تمیز کردن اره توسط دیوید

هرچه از راست به چپ می‌آییم مدت زمان تمیز کردن افزایش یافته و در نتیجه دیوید بیشتر مشغول تمیز کردن اره می‌شود و مشتریان بیشتری وارد صف می‌شوند و احتمال آن از محدوده 29 به 31 درصد می‌رسد.

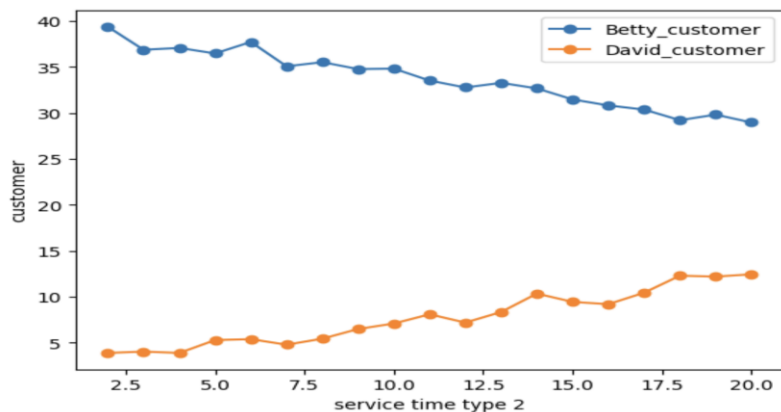


تصویر 36- روند میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 در صف پس از تغییرات پارامترهای توزیع تمیز کردن اره توسط دیوید

هرچه از راست به چپ می‌آییم مدت زمان تمیز کردن افزایش یافته و در نتیجه دیوید بیشتر مشغول تمیز کردن اره می‌شود و مشتریان بیشتری وارد صف می‌شوند و مدت بیشتری را در صف منتظر می‌مانند و در نتیجه میانگین افزایش محسوسی داشته است و از محدوده 0.25 به نزدیک 1 دقیقه رسیده است.

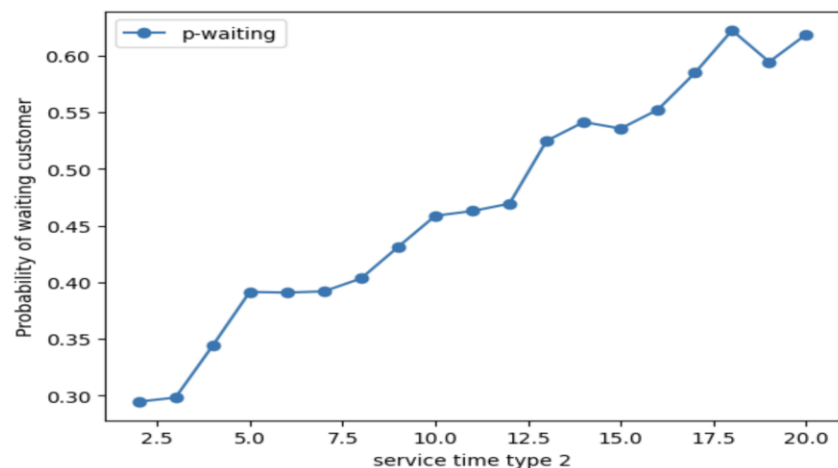
تحلیل حساسیت مدت زمان خدمت نوع 2

فرض کنیم که وقتی مشتریان برای بازگرداندن اره به مغازه می‌آیند به آنها فرم نظرسنجی در ارتباط با خدمات ارائه شده بدهند و تا پس از اتمام پر کردن این فرم مشتری دیگری را خدمت‌دهی نکند (یا می‌توان اره را ابتدا بازرسی کرد که دچار شکست و آسیب نشده است). حال مدت خدمت‌دهی نوع 2 از 2 دقیقه فراتر می‌رود. حال تاثیر این تغییر را بررسی می‌کنیم و آن را تا 20 دقیقه افزایش می‌دهیم.



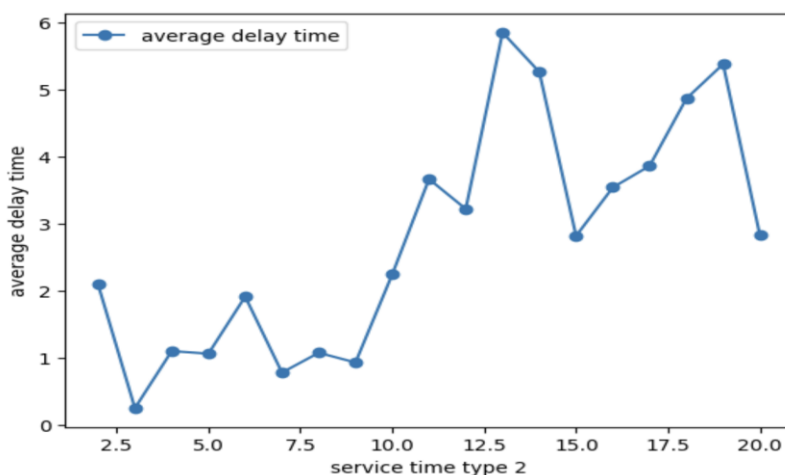
تصویر 37- روند تعداد مشتریان دیوید و بتی پس از تغییرات مدت خدمت نوع 2

با افزایش این مدت مشتریان بیشتری در صف می‌مانند و در نتیجه تعداد مشتریانی که دیوید خدمت‌دهی می‌کند افزایش یافته و از 3 به حدود 12 مشتری رسیده است. همچنین تعداد مشتریان بتی با کاهش 10 نفر از 39 به 29 رسیده است.



تصویر 38- روند احتمال در صف رفتن مشتریان پس از تغییرات مدت خدمت نوع 2

با افزایش مدت خدمت‌دهی نوع 2 سرورها مدت زمان بیشتری درگیر هستند و این باعث افزایش ورودی‌ها به صف شده به صورتی که در مدت خدمت‌دهی 20 دقیقه احتمال اینکه مشتری جدید وارد صف شود فراتر از 60 درصد می‌باشد.



تصویر 39- روند میانگین مدت انتظار مشتریان نوع 1 در صف پس از تغییرات مدت خدمت نوع 2

با افزایش مدت خدمت‌دهی نوع 2 سرورها مدت زمان بیشتری درگیر هستند و این باعث افزایش ورودی‌ها به صف شده به صورتی که مدت زمان انتظار در صف از نزدیک 0 به مدت زمان 5 الی 6 دقیقه می‌رسد که نشان‌دهنده اثر این مولفه است که چه تاثیر گسترده‌ای در قسمت‌های قبل نیز داشت.

نتیجه گیری

در این گزارش به بررسی سوال 28 فصل 3 کتاب پرداخته شد. در ابتدا پیشامدها نمایش داده شد که در فایل پیوست نیز قرار گرفته اند. سپس به بررسی کد شبیه سازی و خواسته های سوال پرداخته شد. در ادامه نتایج را با 50 و 100 و 150 بار شبیه سازی کردیم. سپس به بررسی ورود مشتریان با حدس توزیع پواسون پرداخته شد که آزمون مربع کای آن را رد کرد. در ادامه به تحلیل حساسیت پارامترها پرداخته شد و نتایج گزارش شد.