



دانشکده مهندسی

گروه مهندسی صنایع

نام درس : اصول شبیه سازی

نام استاد : دکتر محمد رنجبر

دانشجو :

امیرعلی باقرزاده بیوکی-9912743386

1	مقدمه
1	صورت سوال
2	متغیرها
2	پیشامدها
3	پیشامد ورود مشتری
4	پیشامد اتمام تولید
5	پیشامد اتمام بازرسی توسط OP1 و OP2
6	پیشامد اتمام بسته بندی
7	پیشامد ورود مواد اولیه
8	پیشامد مرور دوره‌ای
9	کد شبیه‌سازی
9	توزیع پواسون ورود
9	قسمت اول
9	قسمت دوم
10	قسمت سوم
11	قسمت چهارم
12	قسمت پنجم
17	روند NSP و NSR در طول زمان
19	تکرار شبیه‌سازی
19	تحلیل حساسیت
19	افزایش مدت زمان بین دو ورود مشتریان
24	کاهش مدت زمان تولید(افزایش سرعت تولید)
25	کاهش مدت زمان بازرسی
26	کاهش مدت زمان بسته‌بندی

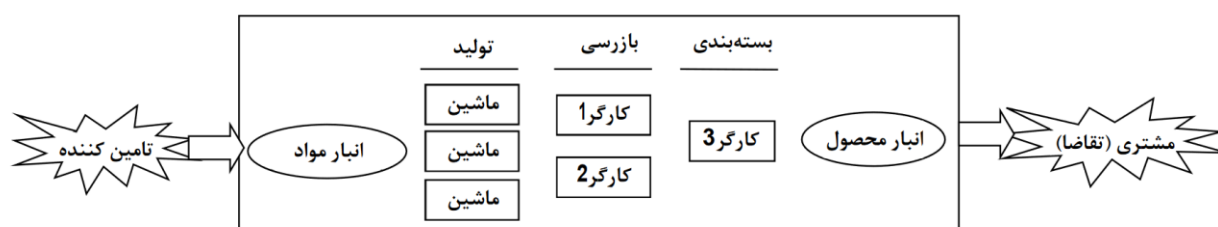
- 27..... کاهش مدت زمان مرور دوره‌ای
- 28..... کاهش مدت زمان ارسال مواد اولیه
- 29..... مقایسه نتیجه تحلیل حساسیت با نتیجه اولیه
- 30..... نتیجه گیری

## مقدمه

در این گزارش به حل مسئله امتحان میانترم شبیه سازی می پردازیم.

## صورت سوال

یک کارگاه صنعتی کوچک را در نظر بگیرید که یک نوع محصول تولید میکند. قطعات بصورت خام وارد این کارگاه شده و پس از چند مرحله پردازش، هر یک قطعه خام به یک واحد محصول تبدیل میشود. شکل زیر قسمت های مختلف و نحوه گردش کار را در این کارگاه نشان می دهد.



مشتریها بصورت تصادفی و بر اساس توزیع پواسون با میانگین 3 مشتری در هر ساعت به این کارگاه مراجعه میکنند. تقاضای هر مشتری با احتمال 0.3 شامل 2 محصول، با احتمال 0.4 شامل 4 محصول و با احتمال 0.3 شامل 6 محصول است. این تقاضاها بر اساس موجودی انبار محصول پاسخ داده میشود و در صورت عدم وجود موجودی کافی، تقاضا بصورت پسافت منظور میشود (میزان تقاضای یک مشتری تا حد امکان پاسخ داده شده و ما بقی آن پسافت میشود). انبار محصول بر اساس یک سیستم موجودی  $(r = 5, Q = 10)$  کنترل میشود. به عبارت دیگر، هرگاه میزان موجودی در دست در این انبار به سطح 5 برسد، انبار سفارش تولید 10 را به مدیر تولید میدهد. مدیر تولید به محض دریافت این سفارش، دستور تولید را صادر میکند و بخش تولید را به کار میاندازد. فرآیند تولید با برداشت قطعات لازم از انبار مواد اولیه شروع میشود. در قسمت تولید، سه ماشینبا عملکرد یکسان وجود دارند که پردازش هر قطعه توسط هر ماشین به مدت  $U[12, 18]$  دقیقه بطول میانجامد. سپس قطعات وارد مرحله بازرسی میشوند که در این مرحله دو کارگر وجود دارند و قطعات خارج شده از مرحله تولید را یک به یک مورد بازرسی قرار میدهند. ولویت بازرسی با کارگر اول است چون سرعت بالاتری دارد. زمان لازم برای بازرسی هر قطعه توسط هر یک از دو کارگر از توزیع مثلثی پیروی میکند اما برای کارگر اول بصورت  $(8, 9, 10)$  دقیقه و برای کارگر دوم بصورت  $(8, 10, 12)$  دقیقه است. هر قطعه بازرسی شده توسط هر کارگر با احتمال 0.98 سالم تشخیص داده شده و به قسمت بسته بندی میرود در حالیکه 2 درصد دیگر دور ریز میشوند. به ازای هر محصول دور ریز شده، یک واحد به سفارشات قسمت تولید اضافه میشود. بسته بندی هر محصول توسط یک کارگر در مدت زمانی تصادفی با توزیع نمایی و با میانگین 5 دقیقه انجام میشود. در قسمت بسته بندی، هنگامیکه تعداد محصولات بسته بندی شده به 10 عدد برسد، به انبار محصول ارسال میشود (سرویسدهی در صفهای بازرسی و بسته بندی بر اساس نوبت است).

لازم به توضیح است که انبار اولیه بر اساس سیستم موجودی  $(r = 15, T = 30)$  کنترل میشود. به عبارت دیگر هر 30 دقیقه به میزان فاصله موجودی خالص مقدار 15 سفارشی داده میشود. مدت زمان تحویل قطعات درخواست شده توسط انبار مواد اولیه بصورت  $N(10, 5)$  دقیقه است. در صورتیکه موجودی این انبار برای سفارش تولید کافی نباشد، این سفارش پسافت میشود.

## متغیرهای تعریف شده

D : مقدار تقاضا

NSP(t) : موجودی خالص محصول در لحظه t

NSR(t) : موجودی خالص مواد اولیه در لحظه t

order(t) : تعداد سفارشات در راه در لحظه t

Q : مقدار سفارش مواد اولیه به تامین کننده

NP(t) : تعداد محصولات بسته‌بندی شده در لحظه t

NBM(t) : تعداد ماشینهای مشغول در لحظه t

OPi(t) : وضعیت کارگر i ( $i=1,2,3$ ) در لحظه t

LQM(t) : طول صف تولید در لحظه t

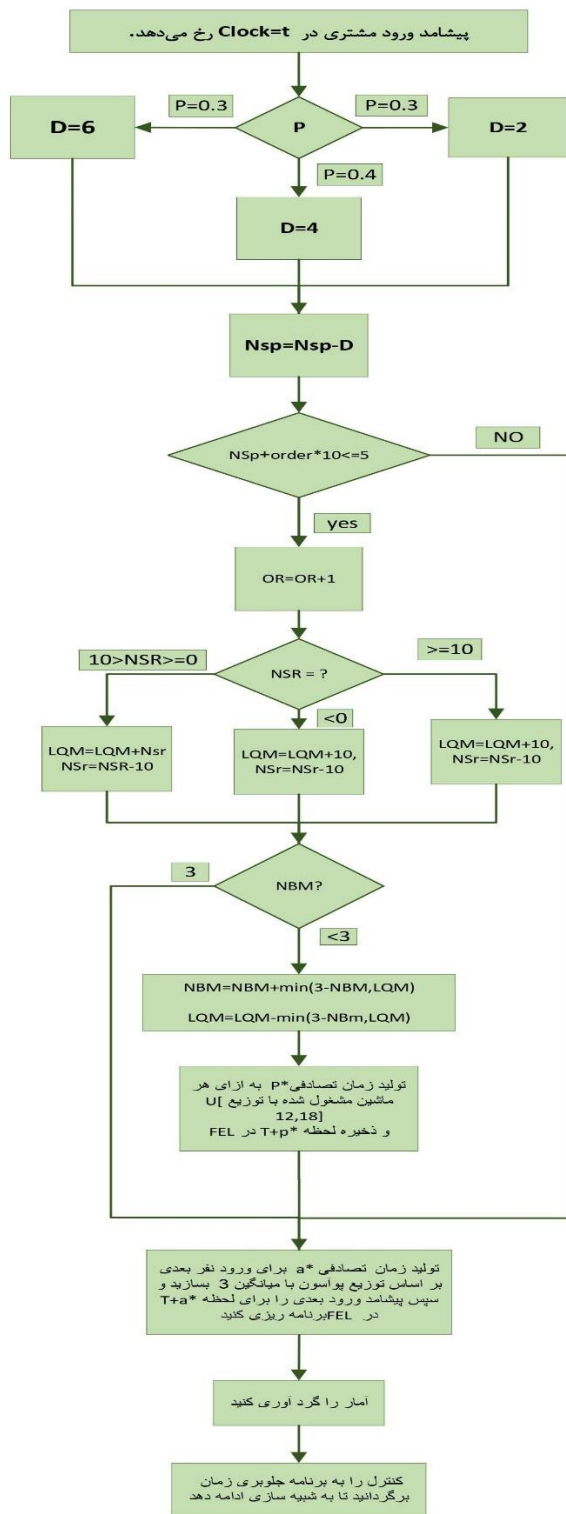
LQI(t) : طول صف بازرسی در لحظه t

LQP(t) : طول صف بسته بندی در لحظه t

## پیشامدها

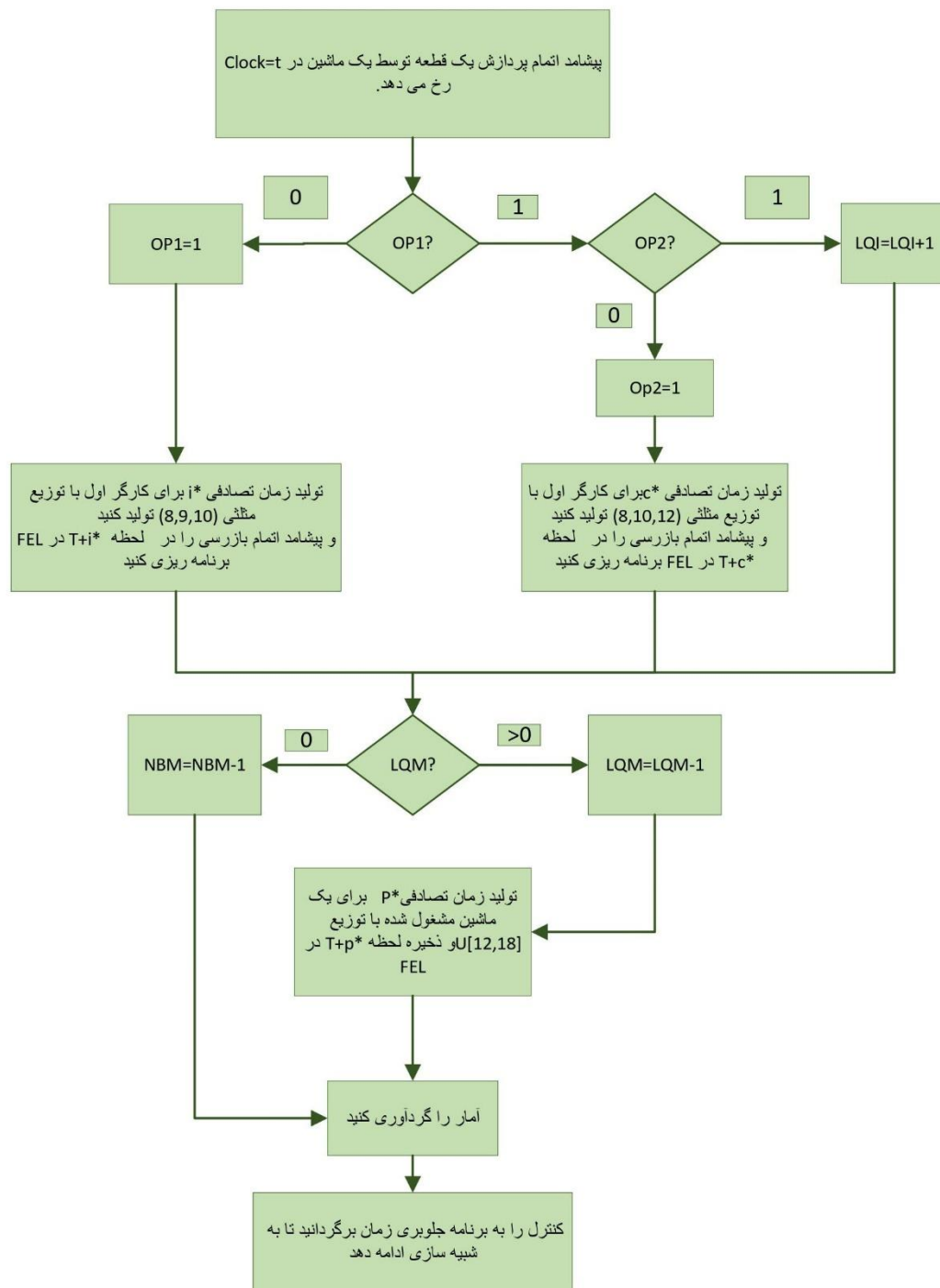
- پیشامد ورود مشتری ( تقاضا )
- پیشامد اتمام تولید
- پیشامد اتمام بازرسی توسط کارگر یک
- پیشامد اتمام بازرسی توسط کارگر دو
- پیشامد اتمام بسته بندی توسط کارگر سه
- پیشامد ورود مواد اولیه
- پیشامد مرور دوره‌ای مواد اولیه

## پیشامد ورود مشتری



نمودار 1- ورود مشتری

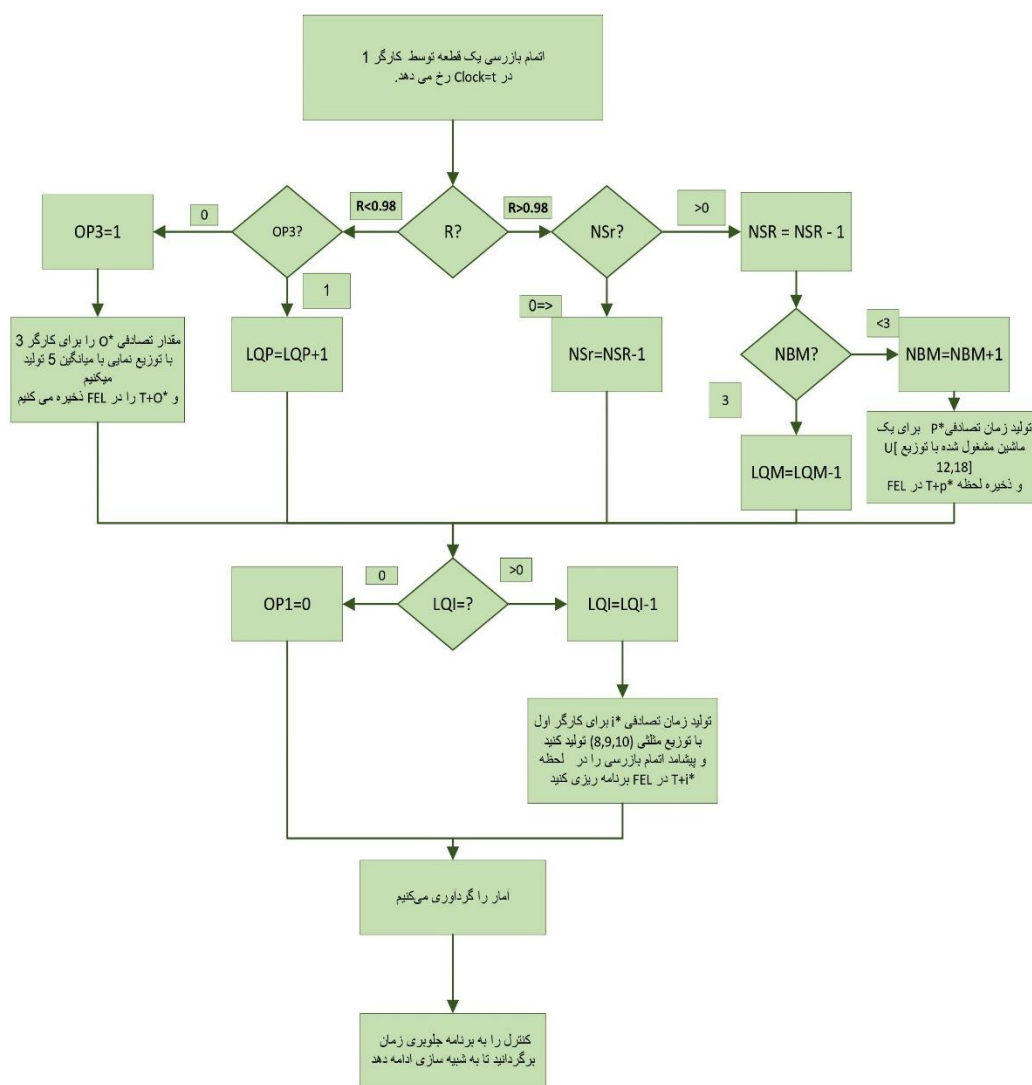
## پیشامد اتمام تولید



نمودار 2- پیشامد اتمام تولید

## پیشامد اتمام بازرسی توسط OP1 و OP2

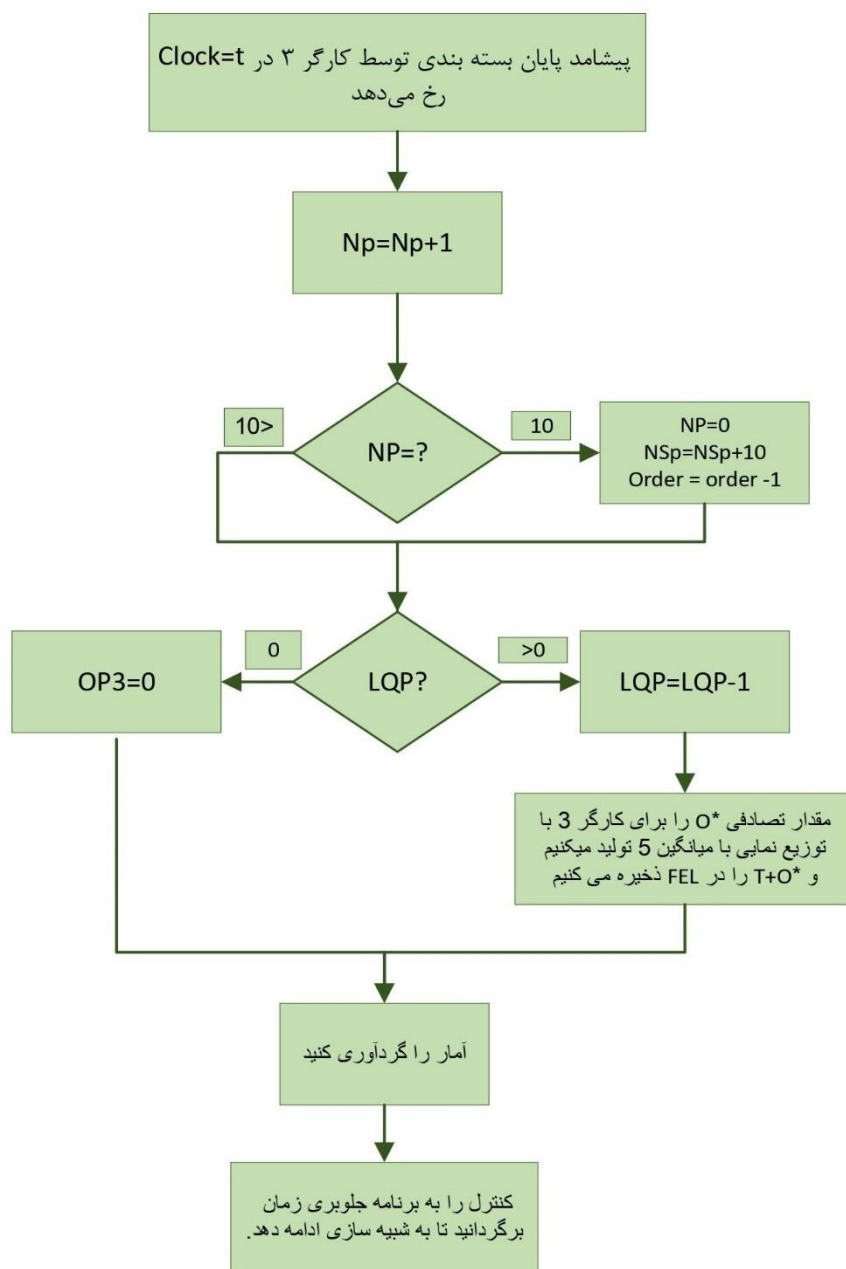
چون دیگرام‌های بازرسی توسط کارگر 1 و 2 فقط در توزیع احتمال خدمت بازرسی تفاوت داشتند به نشان دادن یکی از آنها بسنده می‌کنیم.



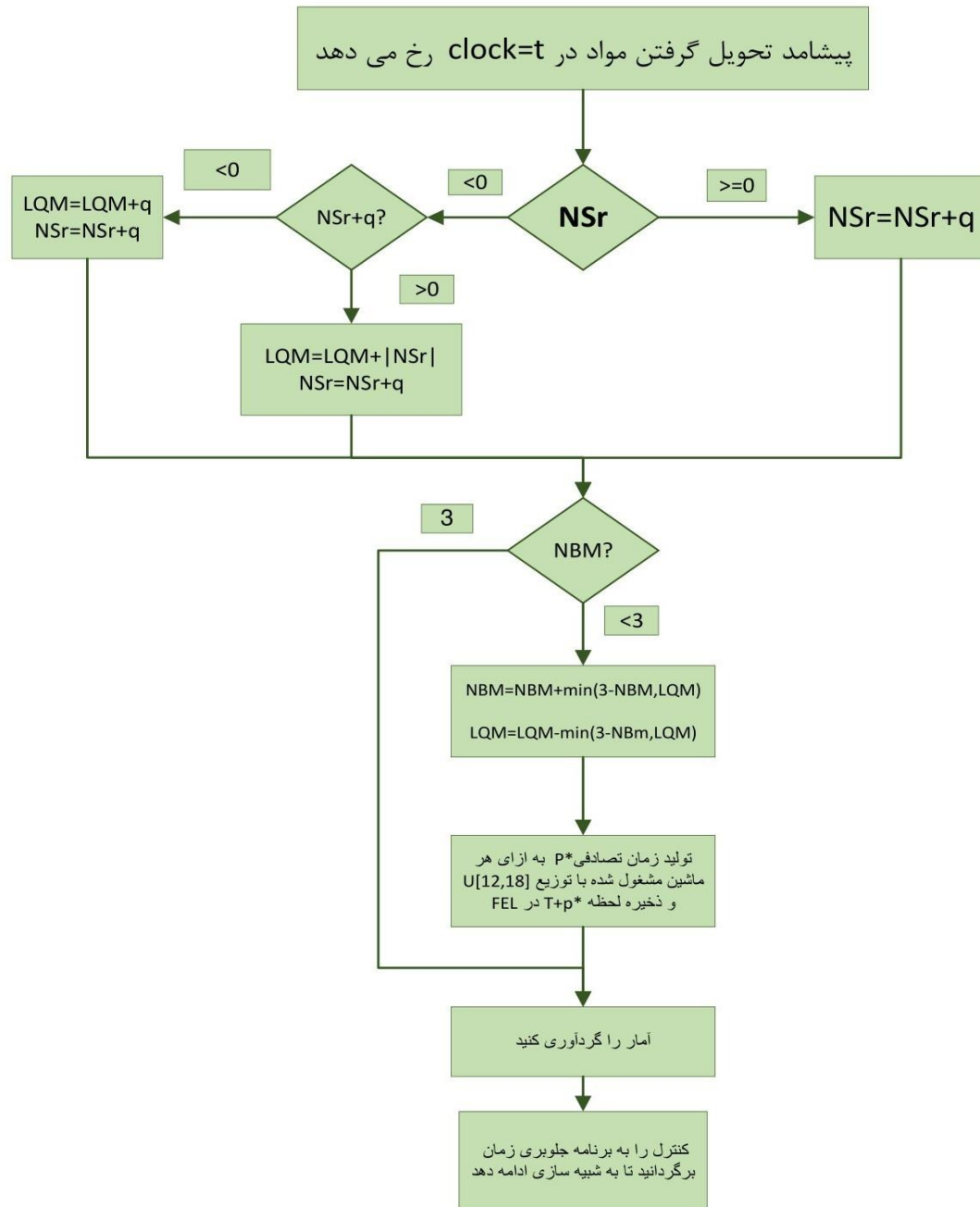
نمودار 3- پیشامد اتمام بازرسی



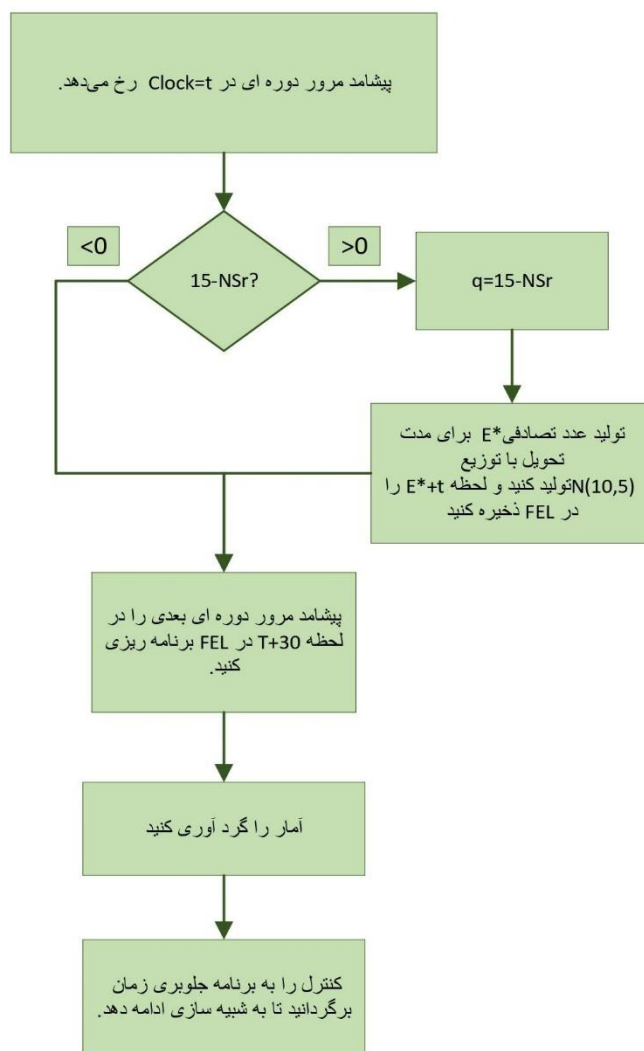
## پیشامد اتمام بسته‌بندی



نمودار 4- پیشامد اتمام بسته‌بندی



## پیشامد مرور دوره‌ای



نمودار 6-پیشامد مرور دوره‌ای

## کد شبیه‌سازی

در ابتدا کتابخانه های 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 لیست های موجود اضافه کرده و به خواسته های مطرح شده پرداختیم.

## توزیع پواسون ورود

در رابطه با توزیع پواسون ورود مشتریان می‌توان گفت که وقتی میانگین آن 3 مشتری در ساعت است، از آنجایی که می‌دانیم فاصله بین وقوع این رخدادها توزیع نمایی دارد با میانگین  $1/3$  ساعت، پس می‌توان گفت که زمان بین دو ورود مشتریان دارای توزیع نمایی با میانگین 20 می‌باشد.

## قسمت اول

در این قسمت از ما خواسته شده بود که درضد تقاضاهایی را که بلافاصله برآورد می‌شوند را حساب کنیم.

```
percentage_of_met_demands_immediately = (met_demands_immediately / customers) * 100
print("percentage of demands which has been met immediately is:", percentage_of_met_demands_immediately)
```

[265] ✓ 0.5s

... percentage of demands which has been met immediately is: 2.666666666666667

قسمت اول

## قسمت دوم

در این بخش از ما خواسته شده بود که میانگین و بیشینه کمبود و موجودی در دست را برای محصولات محاسبه کنیم.

```

NSP_shortage = []
NSP_inventory = []
NSP_lenght = len(NSP_quantity_history)
for i in range(NSP_lenght):
    if NSP_quantity_history[i] >= 0:
        NSP_inventory.append(NSP_quantity_history[i])
        NSP_shortage.append(0)
    else:
        NSP_shortage.append(NSP_quantity_history[i])
        NSP_inventory.append(0)

sum_NSP_shortage = 0
for i in range (NSP_lenght-1):
    sum_NSP_shortage += (NSP_time_history[i+1]-NSP_time_history[i])*NSP_shortage[i]
average_NSP_shortage = sum_NSP_shortage / simulation_time

max_NSP_shortage = abs(np.min(NSP_shortage))

sum_NSP_inventory = 0
for i in range (NSP_lenght-1):
    sum_NSP_inventory += (NSP_time_history[i+1]-NSP_time_history[i])*NSP_inventory[i]
average_NSP_inventory = sum_NSP_inventory / simulation_time

max_NSP_inventory = np.max(NSP_inventory)

print("max of product shortage is:",max_NSP_shortage)
print("average of product shortage is:",average_NSP_shortage)
print("max of product inventory is:",max_NSP_inventory)
print("average of product inventory is:",average_NSP_inventory)

```

قسمت دوم

خروجی کد به صورت زیر است.

```

... max of product shortage is: 44
average of product shortage is: -20.898950749088215
max of product inventory is: 6
average of product inventory is: 0.004230788055437002

```

خروجی قسمت دوم

در اینجا برای بیشینه کمبود مقدار آن را فقط در نظر گرفتیم. به این معنا که بیشینه مقدار کمبود 44 واحد بوده است.

قسمت سوم

در این بخش از ما خواسته شده بود که میانگین و بیشینه کمبود و موجودی در دست را برای مواد اولیه محاسبه کنیم.

```

NSR_shortage = []
NSR_inventory = []
NSR_lenght = len(NSR_quantity_history)
for i in range(NSR_lenght):
    if NSR_quantity_history[i] >= 0:
        NSR_inventory.append(NSR_quantity_history[i])
        NSR_shortage.append(0)
    else:
        NSR_shortage.append(NSR_quantity_history[i])
        NSR_inventory.append(0)

sum_NSR_shortage = 0
for i in range(NSR_lenght-1):
    sum_NSR_shortage += (NSR_time_history[i+1]-NSR_time_history[i])*NSR_shortage[i]
average_NSR_shortage = sum_NSR_shortage / simulation_time

max_NSR_shortage = abs(np.min(NSR_shortage))

sum_NSR_inventory = 0
for i in range(NSR_lenght-1):
    sum_NSR_inventory += (NSR_time_history[i+1]-NSR_time_history[i])*NSR_inventory[i]
average_NSR_inventory = sum_NSR_inventory / simulation_time

max_NSR_inventory = np.max(NSR_inventory)

print("max of raw material shortage is:",max_NSR_shortage)
print("average of raw material shortage is:",average_NSR_shortage)
print("max of raw material inventory is:",max_NSR_inventory)
print("average of raw material inventory is:",average_NSR_inventory)

```

قسمت سوم

خروجی کد به صورت زیر است.

```

... max of raw material shortage is: 6
average of raw material shortage is: -0.4705846928067596
max of raw material inventory is: 15
average of raw material inventory is: 9.569615332262808

```

خروجی قسمت سوم

در اینجا برای بیشینه کمبود مقدار آن را فقط در نظر گرفتیم. به این معنا که بیشینه مقدار کمبود مواد اولیه 6 واحد بوده است.

## قسمت چهارم

در این قسمت میانگین صف‌های تولید، بازرسی و بسته بندی در طول زمان از ما خواسته شده است.

```

length_LQM = len(LQM_time_history)
sum_LQM = 0
for i in range(length_LQM - 1):
    sum_LQM += (LQM_time_history[i+1]-LQM_time_history[i])*LQM_queue_history[i]
average_LQM = sum_LQM / simulation_time

```

میانگین طول صف تولید

```
length_LQI = len(LQI_time_history)
sum_LQI = 0
for i in range (length_LQI - 1):
    sum_LQI += (LQI_time_history[i+1]-LQI_time_history[i])*LQI_queue_history[i]
average_LQI = sum_LQI / simulation_time
```

میانگین طول صف بازرسی

```
length_LQP = len(LQP_time_history)
sum_LQP = 0
for i in range (length_LQP-1):
    sum_LQP += (LQP_time_history[i+1]-LQP_time_history[i])*LQP_queue_history[i]
average_LQP = sum_LQP / simulation_time
```

میانگین طول صف بسته بندی

```
print("average of LQM:",average_LQM)
print("average of LQI:",average_LQI)
print("average of LQP:",average_LQP)
```

[268] ✓ 0.8s

```
... average of LQM: 17.70554617373701
average of LQI: 0.42801563967117434
average of LQP: 2.350246991058329
```

خروجی قسمت چهارم

## قسمت پنجم

در قسمت پنجم خواسته شده که میانگین زمان لازم از لحظه سفارش تا رسیدن آن بسته به انبار محصول را محاسبه کنیم و توزیع احتمال آن را بدست آوریم.

```
length_finish_order_time = len(finish_order_time)
for i in range(length_finish_order_time):
    order_time = finish_order_time[i] - start_order_time[i]
    order_time_list.append(order_time)

print("order time:")
print(order_time_list)

std_order = np.std(order_time_list, ddof = 1)
mean_order = np.mean(order_time_list)
print("average of order time:", mean_order)

coefficient_of_variation = std_order / mean_order
print("coefficient_of_variation:",coefficient_of_variation)

plt.hist(order_time_list, edgecolor='black')
plt.xlabel('Values')
plt.ylabel('Frequency')
plt.title('Histogram')
plt.show()
```

[17] ✓ 0.3s Python

قسمت پنجم

```

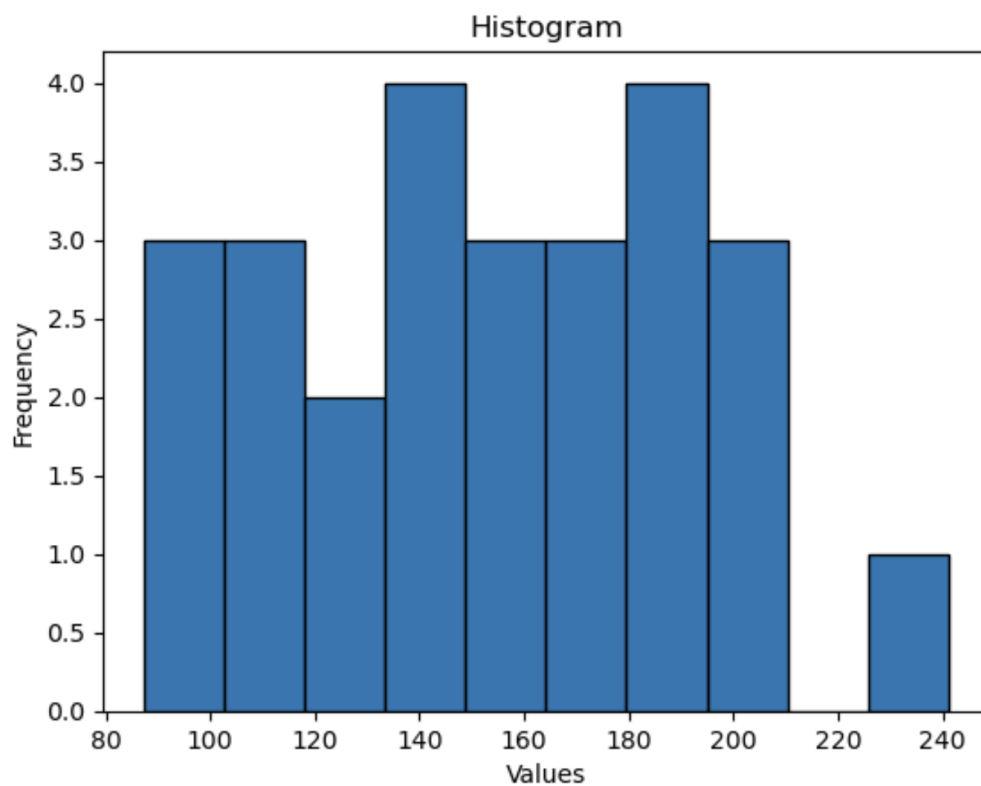
... order time:
[87.30590119988351, 100.3257017343058, 123.15747062655691, 112.0013520746827, 140.01790361228723, 137.55996462804762, 105.08508068681203,
106.12124202854704, 130.03048283021593, 141.21192821599158, 141.45794745651125, 207.5332717776019, 189.06013437715757, 197.04924069673098,
153.03937465860474, 167.70060946260617, 182.3434435920808, 151.69895279081538, 90.68296558172483, 156.60716795808128, 168.97819233558278,
190.1308834441886, 203.55407576674497, 169.4171610650494, 181.9875904177818, 241.09099602622746]
average of order time: 152.89034750172385
coefficient_of_variation: 0.26035005239907083

```

#### خروجی قسمت پنجم

همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین زمان رسیدن سفارش به انبار حدود 153 دقیقه می‌باشد.

برای بحث توزیع احتمال نیز با توجه به ضریب تغییرات که کمتر رنجی حدود 0.25 تا 0.45 دارد مشخص می‌شود که دارای توزیع نمایی نمی‌باشد.



#### هیستوگرام زمان های سفارش

با توجه به توزیع داده‌ها می‌تواند به نرمال نزدیک باشد.

حال کاغذ برگ احتمال را برای توزیع های نمایی و نرمال بررسی می‌کنیم.



```

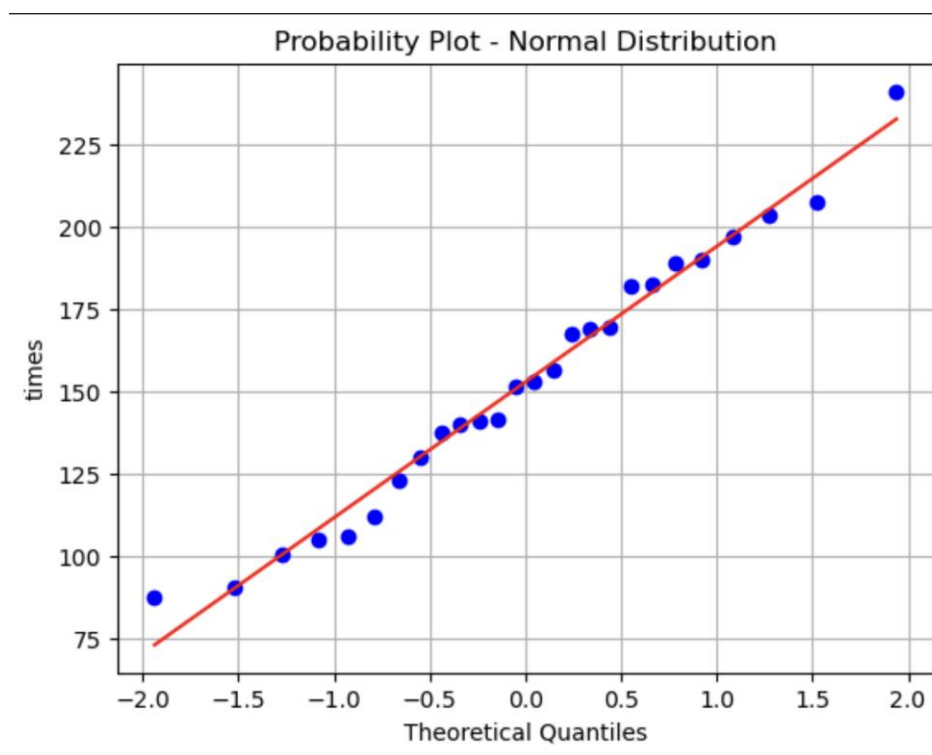
probplot(order_time_list, plot=plt)

plt.xlabel('Theoretical Quantiles')
plt.ylabel('times')
plt.title('Probability Plot - Normal Distribution')
plt.grid(True)
plt.show()

```

✓ 0.1s

ترسیم کاغذ احتمال نرمال



کاغذ احتمال نرمال

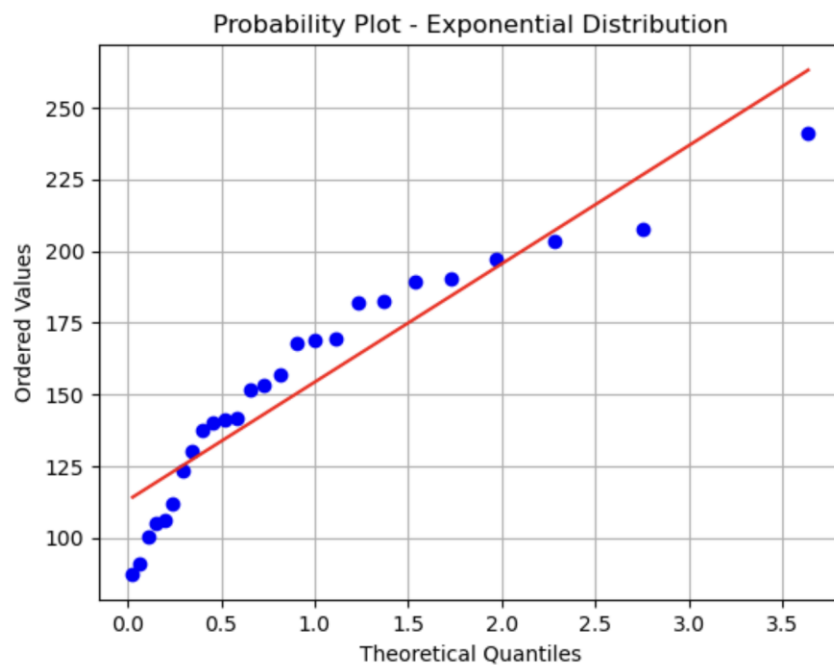
```

probplot(order_time_list, dist='expon', plot=plt)
plt.xlabel('Theoretical Quantiles')
plt.ylabel('Ordered Values')
plt.title('Probability Plot - Exponential Distribution')
plt.grid(True)
plt.show()

```

✓ ✓ 0.2s

ترسیم کاغذ احتمال نمایی



کاغذ احتمال نمایی

همانطور که مشاهده می‌شود، داده روی کاغذ نرمال به خوبی قرار گرفته اند. حال برای اطمینان تست کای اسکوتر را برای توزیع نرمال و تست KS را برای توزیع نمایی امتحان می‌کنیم.

```

# Perform the Chi-Square goodness-of-fit test for normality
chi2_result = normaltest(order_time_list)

print("Chi2 test result:")
print("Test statistic:", chi2_result.statistic)
print("p-value:", chi2_result.pvalue)
if chi2_result.pvalue < 0.05:
    print("It can be concluded that the data does not follow the normal distribution")
else:
    print("It can be concluded that the data follow the normal distribution")

```

✓ 0.9s

آزمون کای اسکوتر برای فرض نرمال بودن

```
... Chi2 test result:
Test statistic: 0.47360774296837677
p-value: 0.7891460468837342
It can be concluded that the data follow the normal distribution
```

نتیجه آزمون مربع کای

مقدار p-value برابر 0.789 می باشد و ما فرض نرمال بودن را می پذیریم.

```
kstest_result = kstest(order_time_list, 'expon')

# Print the test result
print("Kolmogorov-Smirnov test result:")
print("Test statistic:", kstest_result.statistic)
print("p-value:", kstest_result.pvalue)
if kstest_result.pvalue < 0.05:
    print("It can be concluded that the data does not follow the exponential distribution")
else:
    print("It can be concluded that the data follow the exponential distribution")

✓ ✓ 0.1s
```

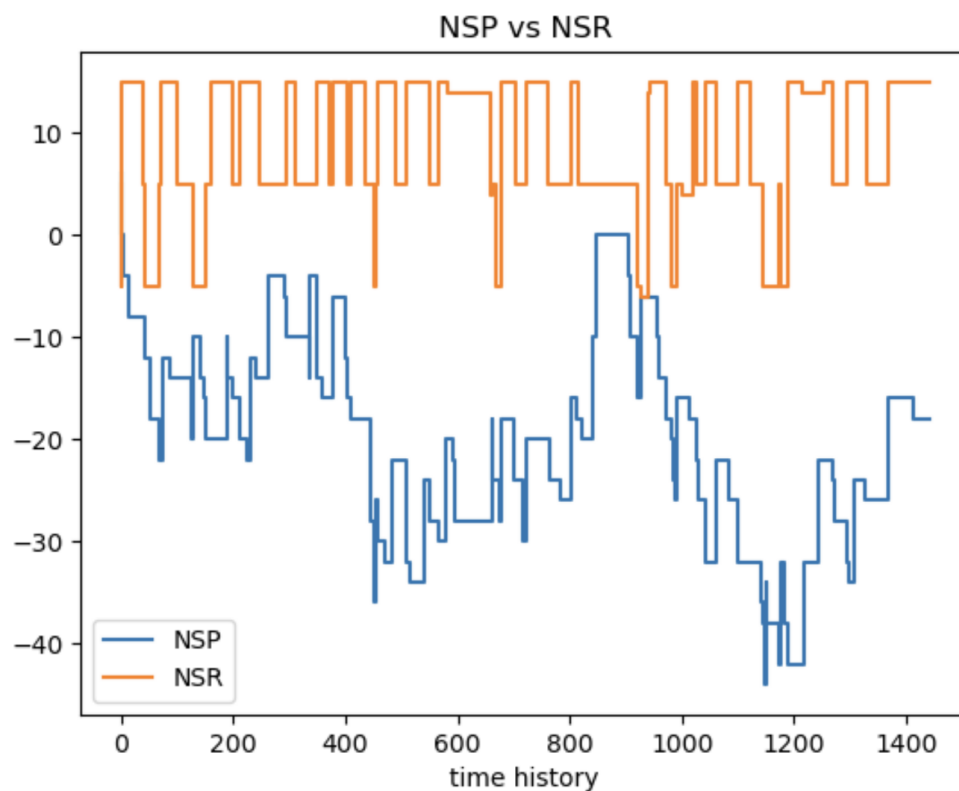
آزمون KS برای فرض نمایی بودن توزیع

```
... Kolmogorov-Smirnov test result:
Test statistic: 1.0
p-value: 0.0
It can be concluded that the data does not follow the exponential distribution
```

نتیجه آزمون KS

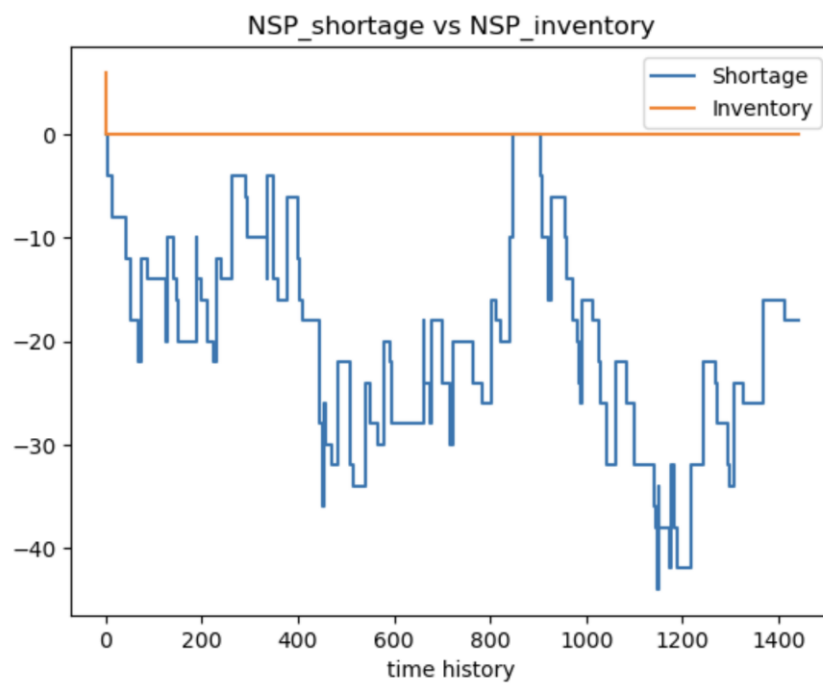
نتیجه این آزمون نشاندهنده رد شدن فرض نمایی بودن توزیع می باشد.

## روند NSP و NSR در طول زمان

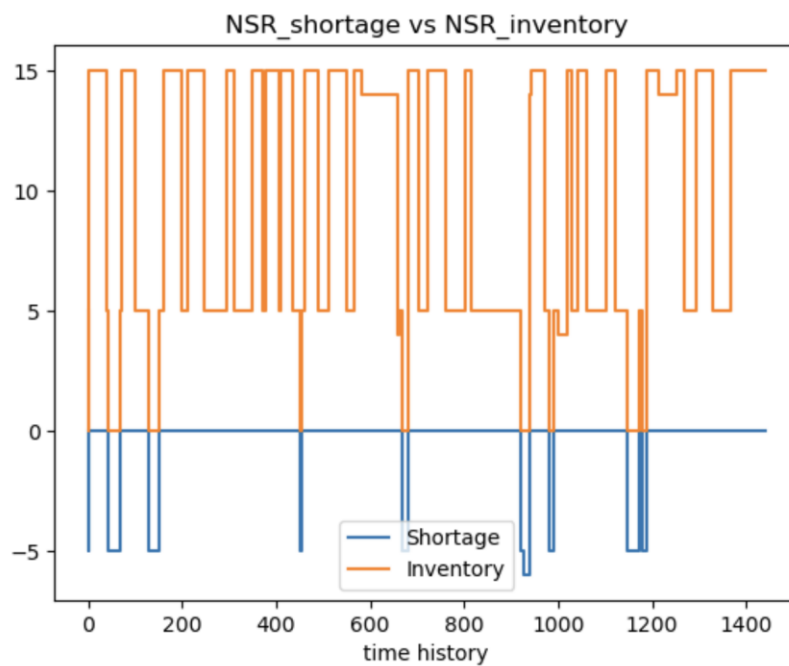


روند NSP و NSR در طول زمان

قابل مشاهده است که NSP اصلاً وضعیت خوبی ندارد و در بیشتر اوقات ما با کمبود رو به رو هستیم و NSR نیز در اکثر اوقات کمبود نداشته‌ایم. در ادامه نیز جریان موجودی و کمبود در محصول و مواد اولیه قابل مشاهده است.



*NSP shortage and inventory*



*NSR shortage and inventory*

بحث‌های تکمیلی را در قسمت تحلیل حساسیت انجام خواهیم داد.

## تکرار شبیه‌سازی

با توجه به اینکه اعداد تصادفی هستند هر بار اجرای کد شبیه‌سازی به ما یک خروجی می‌دهد، ما باید بارها سیستم را شبیه‌سازی کنیم و بعد به بررسی دقیق‌تر سیستم بپردازیم. در این قسمت کد را 50 بار شبیه‌سازی کردیم و میانگین مقادیر خواسته شده گزارش شده است.

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 5.6385462302219045

average of NSP_shortage_list: -26.811381210023292
average of NSP_shortage_max_list: 59.08

average of NSP_inventory_list: 0.29503631433336824
average of NSP_inventory_max_list: 7.36

average of NSR_shortage_list: -0.5419110191924802
average of NSR_shortage_max_list: 13.22

average of NSR_inventory_list: 9.908529998285251
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 21.4220041799279
average_LQI_list: 0.44158267810481844
average_LQP_list: 4.567678360317099
```

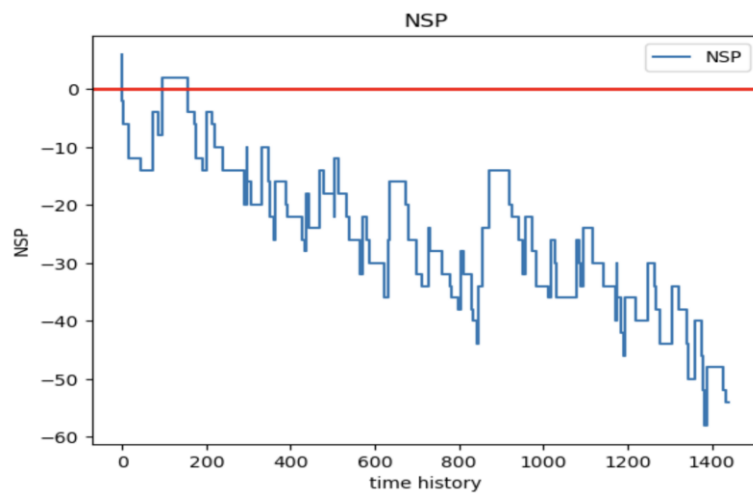
نتایج 50 بار تکرار شبیه‌سازی

## تحلیل حساسیت

در این قسمت به تحلیل حساسیت مسئله پرداخته شده است. باید توجه داشت که در این قسمت تعداد تکرارهای شبیه‌سازی برابر 50 می‌باشد.

### افزایش مدت زمان بین دو ورود مشتریان

در مسئله داده شده پارامترهای زیادی هستند که می‌توان راجب آن‌ها بحث کرد و نشان داد تغییرات آن‌ها چه اثری بر سیستم می‌گذارد. یکی از آن‌ها توزیع نمایی ورود مشتری می‌باشد. با توجه به سیستم فعلی و ثابت بودن پارامترها و توزیع‌های خدمت دهی کاملاً واضح است که سیستم نمی‌تواند پاسخگو تقاضا باشد و اغلب اوقات با کمبود محصول مواجه است. می‌توان با تغییر توزیع ورود مشتری سیستم را بررسی کرد. با تغییر مقدار 20 به 40، 60، 80 و 100 این سیستم را بررسی می‌کنیم.



روند NSP با میانگین 20 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 3.8015070108352296

average of NSP_shortage_list: -32.92770938987588
average of NSP_shortage_max_list: 64.88

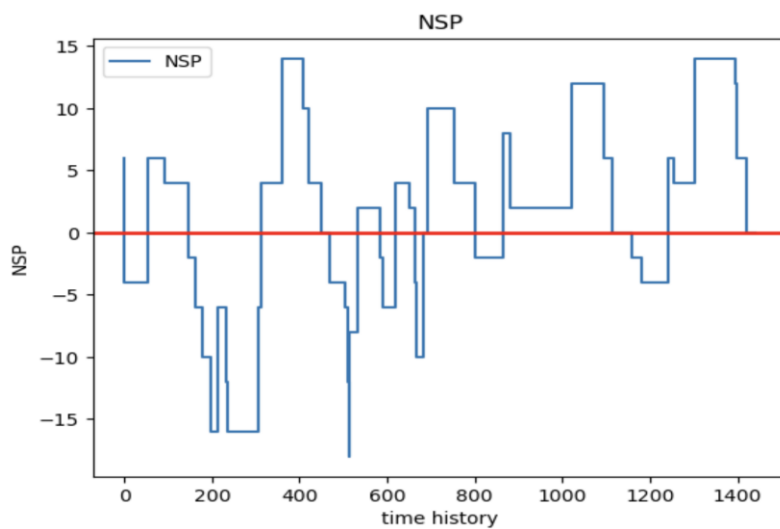
average of NSP_inventory_list: 0.15960970457286655
average of NSP_inventory_max_list: 7.04

average of NSR_shortage_list: -0.554858302112805
average of NSR_shortage_max_list: 14.3

average of NSR_inventory_list: 9.88614811534435
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 25.25939292509889
average_LQI_list: 0.4591845388337105
average_LQP_list: 6.669526998291283
```

شاخص ها با میانگین 20 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود



روند NSP با میانگین 40 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 42.20240316703373

average of NSP_shortage_list: -2.9026359122898513
average of NSP_shortage_max_list: 19.0

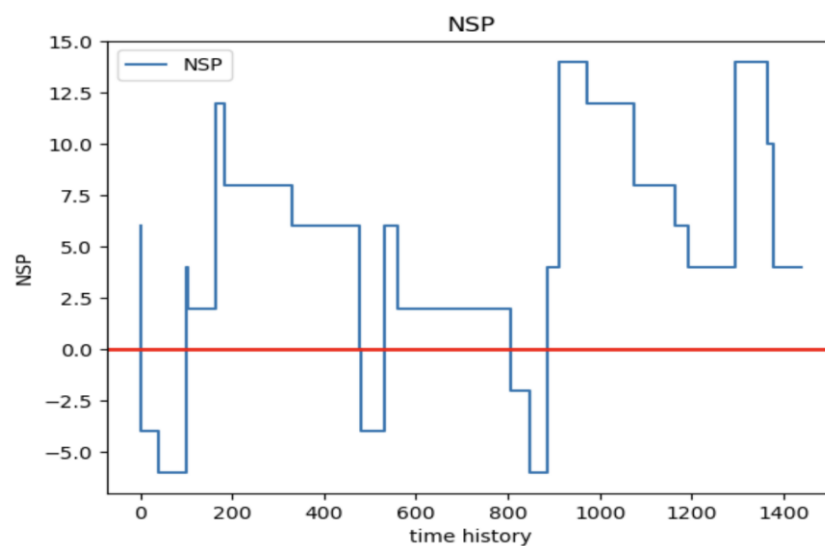
average of NSP_inventory_list: 3.150984335795515
average of NSP_inventory_max_list: 12.76

average of NSR_shortage_list: -0.23004077505732887
average of NSR_shortage_max_list: 7.7

average of NSR_inventory_list: 12.163380616001724
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 2.8145335317243028
average_LQI_list: 0.23543237355389224
average_LQP_list: 0.7922650249316939
```

شاخص ها با میانگین 40 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود





شاخص ها با میانگین 60 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 62.62410413738158

average of NSP_shortage_list: -1.055615781897488
average of NSP_shortage_max_list: 11.76

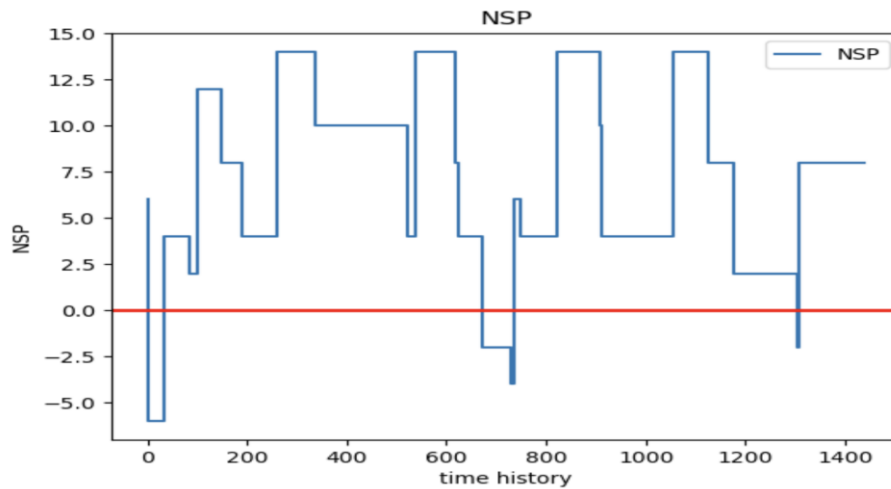
average of NSP_inventory_list: 4.900091434060957
average of NSP_inventory_max_list: 13.24

average of NSR_shortage_list: -0.18054561914318612
average of NSR_shortage_max_list: 6.88

average of NSR_inventory_list: 13.003397356322733
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 1.4359458419764528
average_LQI_list: 0.15694202235922397
average_LQP_list: 0.4797416808905114
```

روند NSP با میانگین 60 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود



روند NSP با میانگین 80 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 77.1096717165367

average of NSP_shortage_list: -0.46025644038205804
average of NSP_shortage_max_list: 8.36

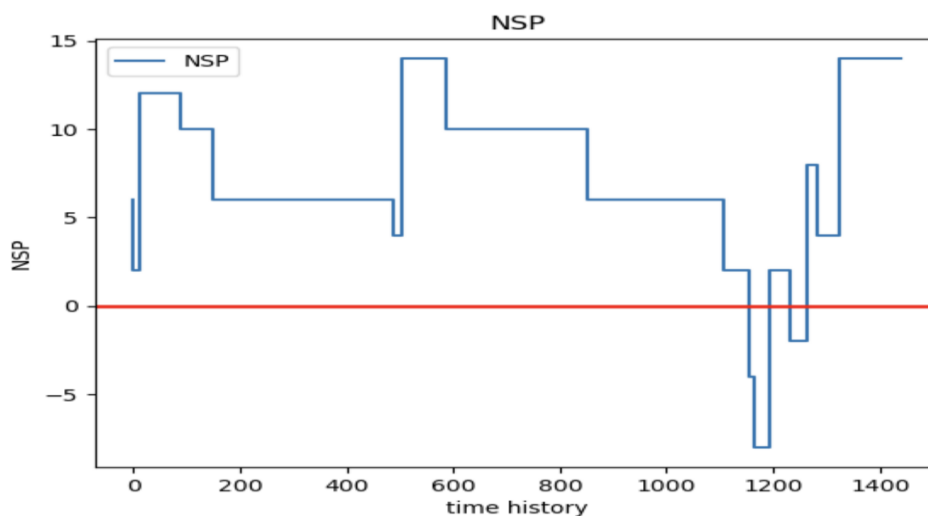
average of NSP_inventory_list: 6.125965266036148
average of NSP_inventory_max_list: 13.44

average of NSR_shortage_list: -0.15927226773505854
average of NSR_shortage_max_list: 6.12

average of NSR_inventory_list: 13.405690028572664
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 0.9803334752728174
average_LQI_list: 0.110934652410569
average_LQP_list: 0.3047284754509958
```

شاخص ها با میانگین 80 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود



روند NSP با میانگین 100 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 77.43241875943114

average of NSP_shortage_list: -0.32824019647692443
average of NSP_shortage_max_list: 6.68

average of NSP_inventory_list: 6.555272859224619
average of NSP_inventory_max_list: 13.52

average of NSR_shortage_list: -0.14846136564044674
average of NSR_shortage_max_list: 5.9

average of NSR_inventory_list: 13.572236195153907
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 0.7911651932784574
average_LQI_list: 0.10073702662073353
average_LQP_list: 0.26500288307103675
```

شاخص ها با میانگین 100 توزیع نمایی فاصله زمانی بین دو ورود

با توجه به نتایج گزارش داده شده با افزایش فاصله زمانی بین ورود مشتری ها سیستم متعادل تر خواهد شد و کمبود کاهش پیدا کرده و موجودی به سقف 15 محصول می رسد.

همانطور که مشاهده می شود درصد مشتریانی که تقاضا آن ها بلافاصله تامین برآورده می شود و میانگین کمبود از 32- به 0.32- می رسد که تغییری کاهشی چشمگیر است و بیشینه مقدار کمبود نیز از میانگین 63 به 7 رسیده است (فقط میزان بیشینه کمبود را نمایش داده ایم نه علامت آن را). همچنین کمبود NSR از 0.55- به 0.14- رسیده است و بیشینه مقدار کمبود از میانگین 14.3 به میانگین 5.9 رسیده است.

همچنین اگر صف ها را مورد بررسی قرار بدهیم صف تولید و صف بسته بندی تغییر چشم گیری داشته اند و صف تولید از میانگین 25 به 0.79 رسیده است و صف بسته بندی از میانگین 6.66 به 0.26 رسیده است.

اگر نگاه دقیق‌تری به سیستم بیاندازیم، متوجه مواردی مانند زمان تولید بالای ماشین‌ها، زمان بسته‌بندی و تعداد 10 محصول بسته‌بندی شده برای ارسال به انبار کالا می‌شویم.

در ادامه تحلیل باید به این توجه شود که اگر هر قسمت را جداگانه تحلیل حساسیت کنیم بهبود چشم‌گیری رخ نخواهد داد چون خروجی هر بخش ورودی بخش بعدیست برای همین ما مرحله به مرحله تحلیل حساسیت را با نتایج مرحله قبل انجام خواهیم داد.

### کاهش مدت زمان تولید (افزایش سرعت تولید)

با توجه به صورت سوال زمان تولید یک محصول برای یک قطعه در ماشین‌آلات از توزیع یکنواخت [12,18] تبعیت می‌کند. یا باید تعداد ماشین‌آلات را افزایش داد یا هم سرعت تولید را افزایش (زمان تولید یک قطعه را کاهش) داد. حال ابتدا توزیع‌های یکنواخت [9,15] و [6,12] را بررسی می‌کنیم. (در این قسمت با اینکه زمان تولید کاهش یافته و بر کیفیت محصول اثرگذار است، ما احتمال تولید قطعه معیوب را همان 0.02 درصد در نظر خواهیم گرفت).

```
... iteration : 50
average of customers_precent_list: 5.6385462302219045

average of NSP_shortage_list: -26.811381210023292
average of NSP_shortage_max_list: 59.08

average of NSP_inventory_list: 0.29503631433336824
average of NSP_inventory_max_list: 7.36

average of NSR_shortage_list: -0.5419110191924802
average of NSR_shortage_max_list: 13.22

average of NSR_inventory_list: 9.908529998285251
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 21.4220041799279
average_LQI_list: 0.44158267810481844
average_LQP_list: 4.567678360317099
```

شاخص‌ها با توزیع یکنواخت [12,18] برای تولید هر قطعه

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 6.306447006964861

average of NSP_shortage_list: -24.31814491547133
average of NSP_shortage_max_list: 56.44

average of NSP_inventory_list: 0.3187013980618128
average of NSP_inventory_max_list: 7.8

average of NSR_shortage_list: -0.5580461162009565
average of NSR_shortage_max_list: 13.44

average of NSR_inventory_list: 9.965821560733803
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 8.709677857342736
average_LQI_list: 8.101376632709469
average_LQP_list: 7.299136475127978

```

شاخص ها با توزیع یکنواخت [9,15] برای تولید هر قطعه

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 5.698633972528178

average of NSP_shortage_list: -27.303702219900938
average of NSP_shortage_max_list: 61.4

average of NSP_inventory_list: 0.2571236885177173
average of NSP_inventory_max_list: 7.56

average of NSR_shortage_list: -0.5952077715526722
average of NSR_shortage_max_list: 14.84

average of NSR_inventory_list: 9.925339792497633
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 4.175321762108338
average_LQI_list: 16.74327319140219
average_LQP_list: 6.688622471833474

```

شاخص ها با توزیع یکنواخت [6,12] برای تولید هر قطعه

با توجه به نتایج که مورد انتظار نیز بود، با افزایش سرعت تولید فقط صف تولید کاهش می یابد و بهبود خاصی رخ نمی دهد چون فقط سرعت تولید افزایش می یابد و به خاطر اینکه سرعت بازرسی ثابت بوده است فقط طول صف بازرسی افزایش می یابد و در موارد دیگر بهبود قابل توجهی رخ نمی دهد.

### کاهش مدت زمان بازرسی (افزایش سرعت بازرسی)

با در نظر گرفتن توزیع یکنواخت [6,12] برای تولید هر قطعه توسط ماشین، تغییراتی را در توزیع مثلی بازرسی ایجاد می کنیم و با توزیع بازرسی را از توزیع مثلی (8,9,10) برای اپراتور 1 به (6,7,8) و برای اپراتور 2 از (8,10,12) به (6,8,10) تغییر می دهیم.

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 8.73038721703459

average of NSP_shortage_list: -20.2663070882673
average of NSP_shortage_max_list: 48.64

average of NSP_inventory_list: 0.46353696123621596
average of NSP_inventory_max_list: 8.48

average of NSR_shortage_list: -0.5222890681096717
average of NSR_shortage_max_list: 14.36

average of NSR_inventory_list: 10.068895561782172
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 3.669669068348796
average_LQI_list: 3.4030476223457327
average_LQP_list: 13.745180684138298

```

شاخص ها با توزیع یکنواخت [6,12] برای تولید هر قطعه و توزیع مثلثی (6,7,8) برای OP1 و (6,8,10) برای OP2

همانطور که انتظار می‌رفت صف بازرسی کاهش یافت و قطعات وارد صف بسته بندی شدند و صف بسته بندی افزایش یافته است. میانگین کمبود محصول از 27- به 20- رسیده است که بهبود قابل توجهی است و میانگین موجودی نیز افزایش یافته است. درصد مشتریانی که تقاضا آن‌ها بلافاصله برآورد می‌شود نیز افزایش کمی داشته است.

## کاهش مدت زمان بسته بندی

گام بعدی برای بهبود سیستم افزایش سرعت بسته بندی یا کاهش زمان بسته بندی می‌باشد. توزیع بسته بندی OP3 را از توزیع نمایی با میانگین 5 به توزیع نمایی با میانگین های 3 و 2 تغییر می‌دهیم.

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 20.117097097017567

average of NSP_shortage_list: -7.65829789196951
average of NSP_shortage_max_list: 30.16

average of NSP_inventory_list: 1.3144217157667817
average of NSP_inventory_max_list: 11.56

average of NSR_shortage_list: -0.5974290628250472
average of NSR_shortage_max_list: 14.6

average of NSR_inventory_list: 9.900372794489233
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 3.757286093320678
average_LQI_list: 3.5466334286859365
average_LQP_list: 0.7167719437609523

```

بسته بندی با توزیع نمایی با میانگین 3

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 26.525464804683892

average of NSP_shortage_list: -6.664360718087395
average of NSP_shortage_max_list: 27.76

average of NSP_inventory_list: 1.824093772324397
average of NSP_inventory_max_list: 12.28

average of NSR_shortage_list: -0.5235736298120404
average of NSR_shortage_max_list: 12.6

average of NSR_inventory_list: 10.18803688473082
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 3.618280334654292
average_LQI_list: 3.5007395178060468
average_LQP_list: 0.13680643051304003

```

بسته‌بندی با توزیع نمایی یا میانگین 2

به خاطر تغییری که در توزیع زمان بسته‌بندی دادیم، طول صف بسته‌بندی کاهش یافت.

## کاهش دوره مرور دوره‌ای مواد اولیه

یکی دیگر از مواردی که باید به آن توجه شود این است که دوره 30 دقیقه‌ای ورود مواد اولیه را کاهش دهیم تا تاثیر آن را بر سیستم مشاهده کنیم. طبق انتظاری که داریم کمبود مواد اولیه کاهش می‌یابد. این دوره را به 20 و 15 تغییر می‌دهیم.

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 24.312442408548886

average of NSP_shortage_list: -7.121848818979646
average of NSP_shortage_max_list: 28.84

average of NSP_inventory_list: 1.7372492676313933
average of NSP_inventory_max_list: 12.04

average of NSR_shortage_list: -0.4010272495057051
average of NSR_shortage_max_list: 12.48

average of NSR_inventory_list: 10.81946222326015
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 3.8529880446357367
average_LQI_list: 3.810370545351029
average_LQP_list: 0.15033456715523946

```

کاهش زمان مرور دوره‌ای از 30 به 20

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 24.84969385002559

average of NSP_shortage_list: -6.524808243723185
average of NSP_shortage_max_list: 27.36

average of NSP_inventory_list: 1.6712998627044175
average of NSP_inventory_max_list: 12.16

average of NSR_shortage_list: -0.3090384018009817
average of NSR_shortage_max_list: 11.44

average of NSR_inventory_list: 11.38296640934166
NSR_inventory_max_list: 17.8

average_LQM_list: 3.7988021520043076
average_LQI_list: 3.419428190568082
average_LQP_list: 0.1486716580888734

```

کاهش زمان مرور دوره‌ای از 30 به 15

کمبود مواد اولیه کاهش یافته است ولی بهبود خاصی در سیستم شکل نپذیرفته است.

### کاهش مدت زمان ارسال مواد اولیه

می‌توان برای امتحان نیز مدت زمان رسیدن مواد اولیه را نیز کاهش داد. مدت ارسال مواد اولیه دارای توزیع نرمال با میانگین 10 و واریانس 5 است که می‌توان آن را به میانگین 8 و واریانس 4 و میانگین 6 و واریانس 3 تغییر داد.

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 23.83885458258106

average of NSP_shortage_list: -7.506125388066
average of NSP_shortage_max_list: 28.96

average of NSP_inventory_list: 1.7039776471451438
average of NSP_inventory_max_list: 12.36

average of NSR_shortage_list: -0.32592231607804406
average of NSR_shortage_max_list: 13.24

average of NSR_inventory_list: 11.668174908418061
NSR_inventory_max_list: 16.0

average_LQM_list: 4.129009588161516
average_LQI_list: 3.9668655164965885
average_LQP_list: 0.16046237906477823

```

کاهش زمان ارسال مواد اولیه با میانگین 10 و واریانس 5 به میانگین 8 و واریانس 4

```

... iteration : 50
average of customers_precent_list: 27.36412071078589

average of NSP_shortage_list: -5.748488225602414
average of NSP_shortage_max_list: 27.64

average of NSP_inventory_list: 1.9756110685768196
average of NSP_inventory_max_list: 12.6

average of NSR_shortage_list: -0.2528406345109712
average of NSR_shortage_max_list: 10.48

average of NSR_inventory_list: 12.127861430869114
NSR_inventory_max_list: 15.0

average_LQM_list: 3.6403445674359385
average_LQI_list: 2.8765752803348037
average_LQP_list: 0.14029879815925425

```

کاهش زمان ارسال مواد اولیه با میانگین 10 و واریانس 5 به میانگین 6 و واریانس 3

باعث کاهش کمبود مواد اولیه شده است.

### مقایسه نتیجه تحلیل حساسیت با نتیجه اولیه

به شرایط اولیه دوباره بازگردیم و نتیجه آن را با نتایج بدست آمده مقایسه کنیم. نکته ای که باید به آن توجه کرد این است که توزیع نمایی ورود مشتریان را تغییر نداده و آن را با فرض سوال جلو برده‌ام.

<pre> iteration : 50 average of customers_precent_list: 5.6385462302219045  average of NSP_shortage_list: -26.811381210023292 average of NSP_shortage_max_list: 59.08  average of NSP_inventory_list: 0.29503631433336824 average of NSP_inventory_max_list: 7.36  average of NSR_shortage_list: -0.5419110191924802 average of NSR_shortage_max_list: 13.22  average of NSR_inventory_list: 9.908529998285251 NSR_inventory_max_list: 15.0  average_LQM_list: 21.4220041799279 average_LQI_list: 0.44158267810481844 average_LQP_list: 4.567678360317099 </pre>	<pre> iteration : 50 average of customers_precent_list: 27.36412071078589  average of NSP_shortage_list: -5.748488225602414 average of NSP_shortage_max_list: 27.64  average of NSP_inventory_list: 1.9756110685768196 average of NSP_inventory_max_list: 12.6  average of NSR_shortage_list: -0.2528406345109712 average of NSR_shortage_max_list: 10.48  average of NSR_inventory_list: 12.127861430869114 NSR_inventory_max_list: 15.0  average_LQM_list: 3.6403445674359385 average_LQI_list: 2.8765752803348037 average_LQP_list: 0.14029879815925425 </pre>
نتیجه اولیه	نتیجه تحلیل حساسیت

طبق خروجی سیستم پس از تغییرات بوجود آمده در مدت زمان تولید، مدت زمان بازرسی، مدت زمان بسته بندی، زمان مرور دوره‌ای و مدت زمان بین سفارش تا تحویل مواد اولیه، مشاهده می‌شود که درصد



مشتریانی که تقاضا آن‌ها بلافاصله برآورده می‌شود افزایش 22 درصدی داشته است که باعث افزایش رضایت مشتری می‌شود.

میانگین کمبود محصول از 26.8- به 5.7- رسیده است و مقدار بیشینه کمبود نیز از 59 به 28 رسیده است. همچنین میانگین موجودی در دست از 0.29 به 1.97 رسیده است و بیشینه موجودی سیستم نیز از 7.36 به 12.6 افزایش یافته است.

میانگین کمبود مواد اولیه در ابتدا برابر 0.54- بوده که به 0.25- رسیده است. میانگین مقدار بیشینه کمبود مواد اولیه از 13 به 10.5 رسیده است. موجودی در دست مواد اولیه از 10 به 12 رسیده است و میانگین بیشینه موجودی همان 15 می‌باشد.

میانگین میانگین طول صف تولید از 21.42 به 3.64 و میانگین میانگین طول صف از 0.44 به 2.87 رسیده است که طبیعی است. سرعت تولید کالا افزایش یافته و کالاها در صف بازرسی قرار می‌گیرند. همچنین طول صف بسته بندی کاهش یافته است.

### نتیجه گیری

در این گزارش به بررسی سوال امتحان میانترم پرداختم و در ابتدا متغیرها و پارامترها را تعریف کردم. در ادامه پیشامدها را نمایش دادم که در فایل پیوست نیز قرار گرفته اند. سپس به بررسی کد شبیه سازی و خواسته های سوال پرداخته شد و تعداد تکرارها را افزایش داده و نتایج را با 50 بار تکرار گزارش دادم. در انتها نیز به تحلیل حساسیت پرداختم تا سیستم موجود را به یک سیستم بهبود یافته تبدیل کنیم که گزارش بهبود را مشاهده کردیم.