



**دانشگاه صنعتی امیرکبیر**  
**( پلی تکنیک تهران )**

**درس اصول شبیه‌سازی**  
**پروژه نهایی درس اصول شبیه‌سازی**

استاد: دکتر احمدی

دانشجو : حسین هوشمند

بهار 1404

# فهرست مطالب

## پروژه نهایی درس اصول شبیه‌سازی

3	..... صورت مسئله
4	..... مدل مفهومی
4	..... نمودارهای جریان و کنترلر شبیه‌سازی
6	..... کنترلر شبیه‌سازی و نمودارهای جریان قسمت الف:
11	..... نمودارهای جریان قسمت ب:
15	..... فرض‌های ساده ساز
16	..... نتایج به دست آمده
24	..... تحلیل نتایج و نتیجه‌گیری
جدول گزارش عملکرد اعضای گروه..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	

## صورت مسئله

بخش ابزار یک کارخانه، ابزارهای مختلف را به کارکنان بخشهای مختلف کارخانه امانت می‌دهد. کارکنان با آهنگ یک نفر در هر  $30 \pm 30$  دقیقه برای امانت ابزار از راه می‌رسند. بخش ابزار دارای دو نفر کارگر به نام‌های مراد و کیکاوس است. کیکاوس می‌تواند هر ابزار را در  $14 \pm 4$  دقیقه اجاره دهد، اما این زمان برای مراد  $10 \pm 5$  دقیقه طول می‌کشد. افراد پس از استفاده از ابزار آن را به بخش برمی‌گردانند. افرادی که ابزار را بر می‌گردانند نیز با همان آهنگ ورود وارد می‌شوند. به منظور دریافت ابزار مرجوعی، کیکاوس یا مراد به مدت 2 دقیقه با مشتری وقت صرف می‌کند. به علاوه، خدمتدهی بر اساس ضابطه «به ترتیب ورود» است. هرگاه هیچ مشتری‌ای حاضر نباشد یا مراد مشغول به کار باشد، کیکاوس به آماده‌سازی ابزار مرجوعی برای امانتدهی مجدد می‌پردازد. این نوع عملیات نگهداری  $6 \pm 4$  دقیقه از وقت او را و تمیز کردن ابزار  $10 \pm 6$  دقیقه از وقت او را می‌گیرد. هرگاه کیکاوس مشغول به کار نباشد، به نگهداری یا تمیز کردن ابزار مرجوعی برای امانتدهی مجدد می‌پردازد. با به پایان رسانیدن کارهای نگهداری یا تمیز کردن یک ابزار، اگر مشتری یا مشتریانی به انتظار باشند کیکاوس خدمتدهی به آن‌ها را شروع می‌کند. مراد همواره به خدمتدهی به مشتریان می‌پردازد.

الف) مدل مفهومی را ترسیم، متغیرهای حالت و بیشامدهای اصلی را معرفی کرده و نمودار کنترلر شبیه‌سازی و کلیه نمودارهای جریان مورد نیاز را ترسیم نمایید.

ب) شبیه‌سازی بخش را برای 30 روز انجام دهید. سیستم در ساعت 8 صبح خالی است و راس ساعت 6 بعد از ظهر درب بخش بسته شده لیکن کیکاوس و مراد تا ساعت 7 بعد از ظهر ابزار را برای امانتدهی مجدد آماده می‌کنند. یعنی عملیات نگهداری و تمیزکاری را بر روی آنها انجام می‌دهند.

- برنامه شبیه‌سازی شما باید قابلیت ارائه گزارش ردیابی در بازه‌های زمانی دلخواه را داشته باشد.
- با استفاده از نتایج نمونه 30 تایی، برآوردهای نقطه‌ای و فاصله‌ای متغیرهای ذیل را به‌دست آورید.
- متوسط مدت انتظار مشتری در صف برای دریافت ابزار
- متوسط زمان مورد نیاز برای ارائه هر کدام از خدمات امانتدهی، نگهداری و تمیزکاری (در صورت نیاز به تفکیک کیکاوس و مراد)
- متوسط طول صف

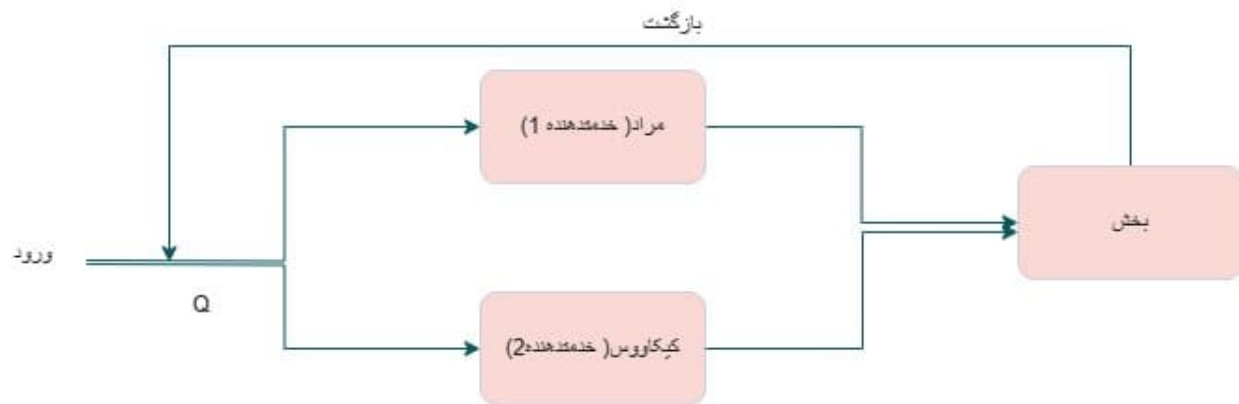
ج) حال فرض کنید شیوه معمول بخش در مورد نگهداری و تمیز کردن ابزار به منظور آماده‌سازی برای امانتدهی مجدد، عوض شده و اینک مراد تمام این کار را انجام می‌دهد. به محض پایان تمیز کاری ابزار، در صورت وجود صف انتظار، مراد به کمک کیکاوس می‌رود. یعنی کیکاوس و مراد هر دو به مشتریان جدید خدمت می‌دهند و ابزار مرجوعی را دریافت می‌کند تا جایی که تنها کیکاوس مشغول بماند یا بخش خالی شود. پس از این، مراد به وظیفه خود در زمینه نگهداری و تمیزکاری را از سر می‌گیرد.

- بندهای الف و ب را برای این حالت نیز تکرار کنید.

- نسبت مشتریانی که باید بیش از 5 دقیقه منتظر بمانند برآورد نمایید. این مقدار را برای هر دو شیوه مقایسه نمایید.
- دو شیوه عمل بخش را مقایسه نموده و مزایا و معایب هر شیوه را بررسی نمایید.
- یک طرح بهبود برای سیستم فعلی را ارائه نموده و نتایج آنرا بررسی نمایید.

### مدل مفهومی

همان‌طور که در مدل مفهومی زیر مشاهده می‌کنید، کارکنان وارد سیستم شده و در صورت وجود صف به آن اضافه می‌شوند. در صورت عدم وجود صف طبق اولویت‌های فرض مسئله که در صورت مسئله بیان شده، خدمت مورد نظر خود را از خدمت‌کننده‌ها می‌گیرند. این خدمات شامل اجاره دادن ابزار و بازگشت کارکنان برای بازگرداندن ابزار یا همان دریافت ابزار مرجوعی می‌شود. کارکنان پس از اجاره گرفتن ابزار، وارد بخش شده و برای بازگرداندن آنان پس از اتمام کارشان، دوباره وارد صف می‌شوند. خدمات نگهداری و تعمیرات و همچنین تمیزکاری مانند فرض سوال توسط خدمت‌دهندگان رخ می‌دهد.



### نمودارهای جریان و کنترلر شبیه‌سازی

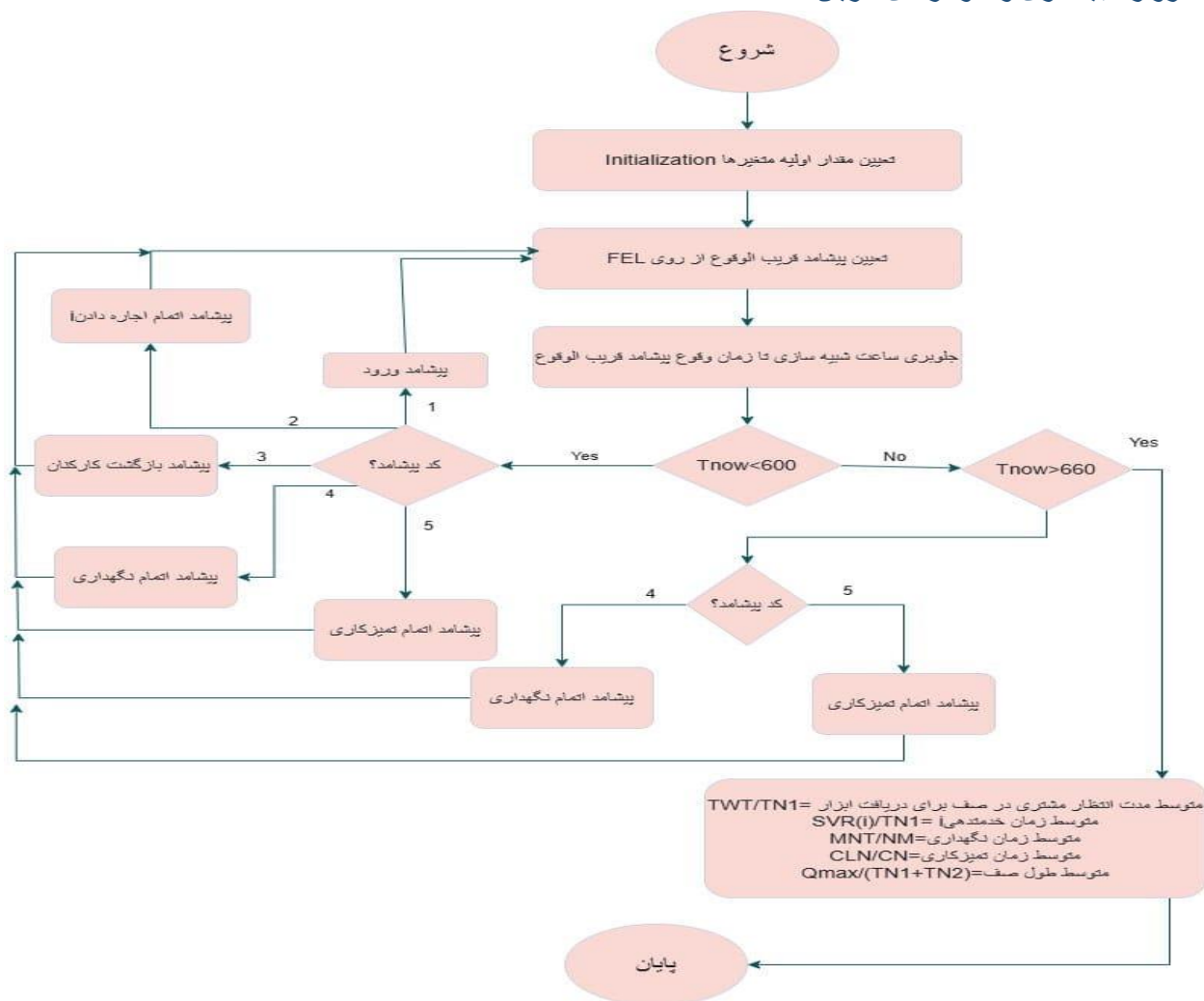
طبق فلوچارت‌های زیر و کنترلر شبیه‌سازی، پیشامدهای اصلی شامل ورود (کد یک)، اتمام خدمت‌دهی اجاره دادن (کد دو)، بازگشت کارکنان (کد سه)، اتمام نگهداری (کد چهار) و اتمام تمیزکاری (کد پنج) می‌باشند. متغیرهای حالت نیز شامل  $Q$  و  $Si$  هستند.

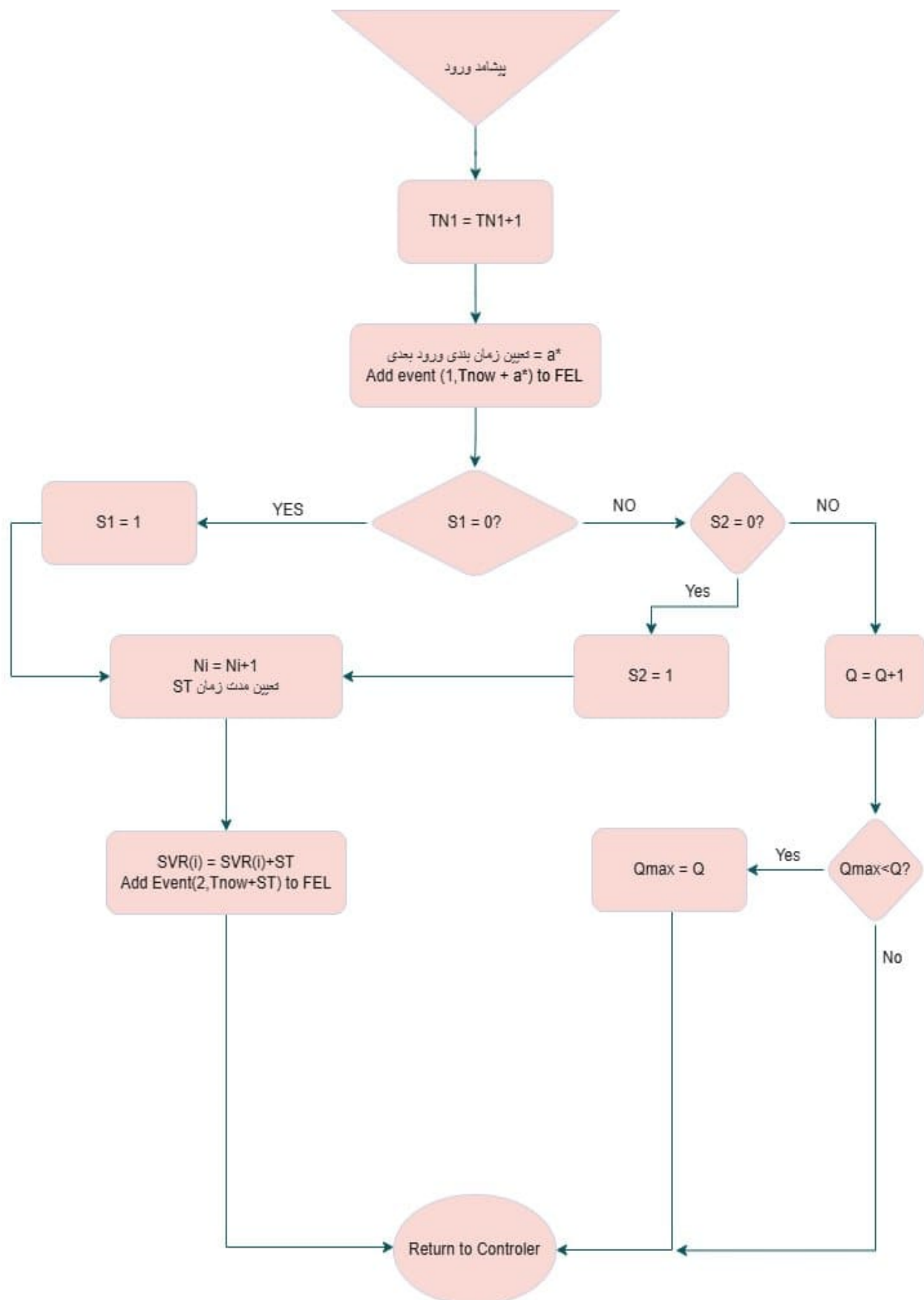
شرح متغیرها:

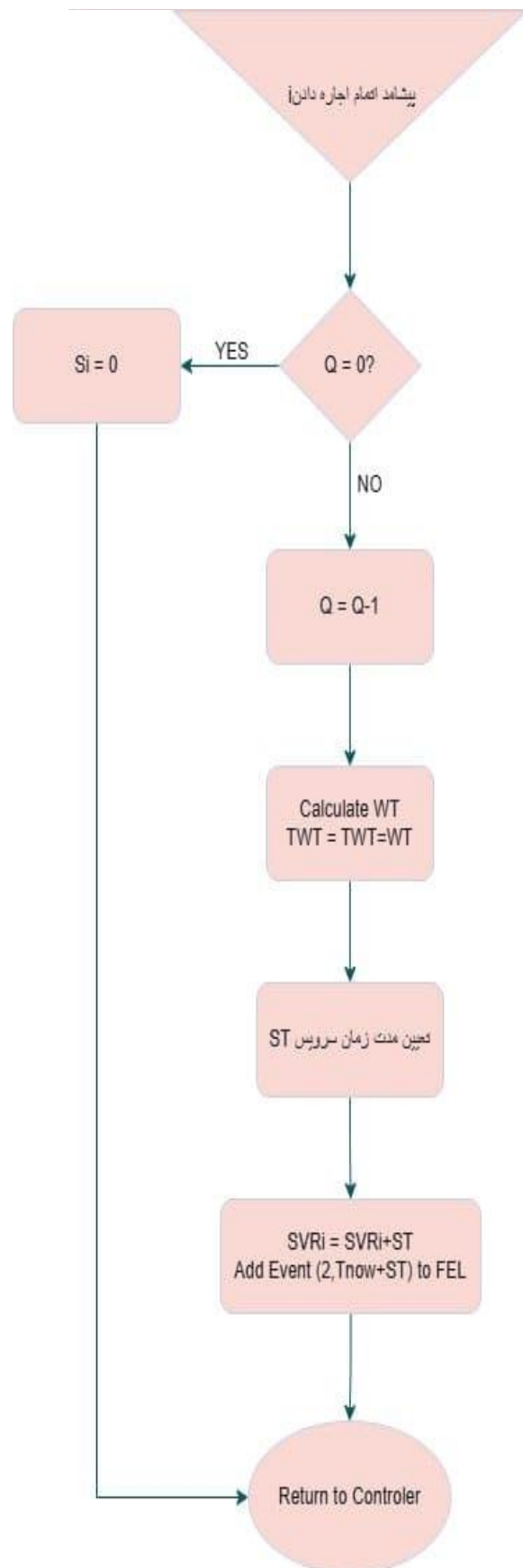
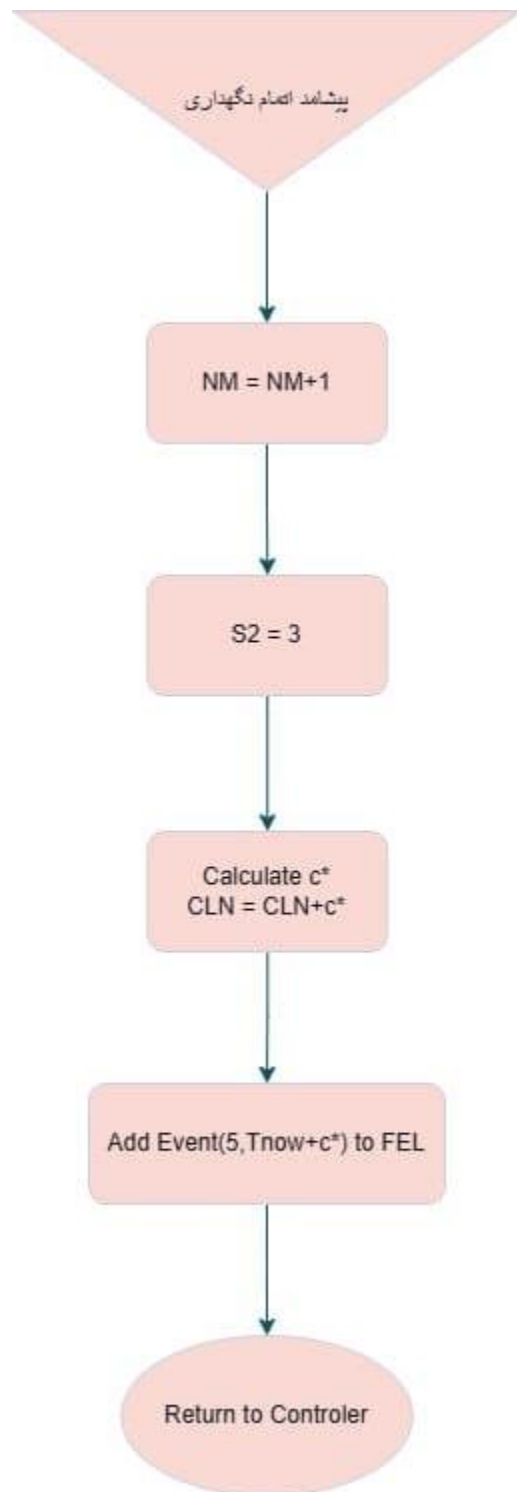
متغیر	شرح
$Q$	تعداد افراد منتظر در صف
Status = $Si$	وضعیت کارکنان $i$ (0=بی‌کار، و باقی اعداد مشابه با اعداد کد پیشامدها می‌باشند).
WT	زمان انتظار مشتری
TWT	مجموع زمان‌های انتظار مشتریان
T now	زمان حال (ساعت شبیه‌سازی)
SVR $i$	مدت زمان انجام خدمت اجاره دادن کارکن $i$

مدت شبیه‌سازی یا همان زمان کل	<b>T</b>
تعداد مشتری برای خدمت اجاره دادن کارکن i	<b>N<sub>i</sub></b>
مدت خدمت‌دهی	<b>ST</b>
تعداد کل مشتریان برای خدمت اجاره دادن، کد 1 برای ورود و کد 2 برای بازگشت است.	<b>TN (i)</b>
مجموع مدت نگهداری	<b>MNT</b>
مدت نگهداری	<b>m*</b>
مجموع مدت تمیز کردن	<b>CLN</b>
مدت تمیز کردن	<b>c*</b>
مدت زمان بین دو ورود	<b>a*</b>
مجموع افراد در صف تا آخر روز	<b>Q<sub>max</sub></b>
تعداد ابزار نگهداری و تعمیرات شده	<b>NM</b>
تعداد ابزار تمیز شده	<b>NC</b>

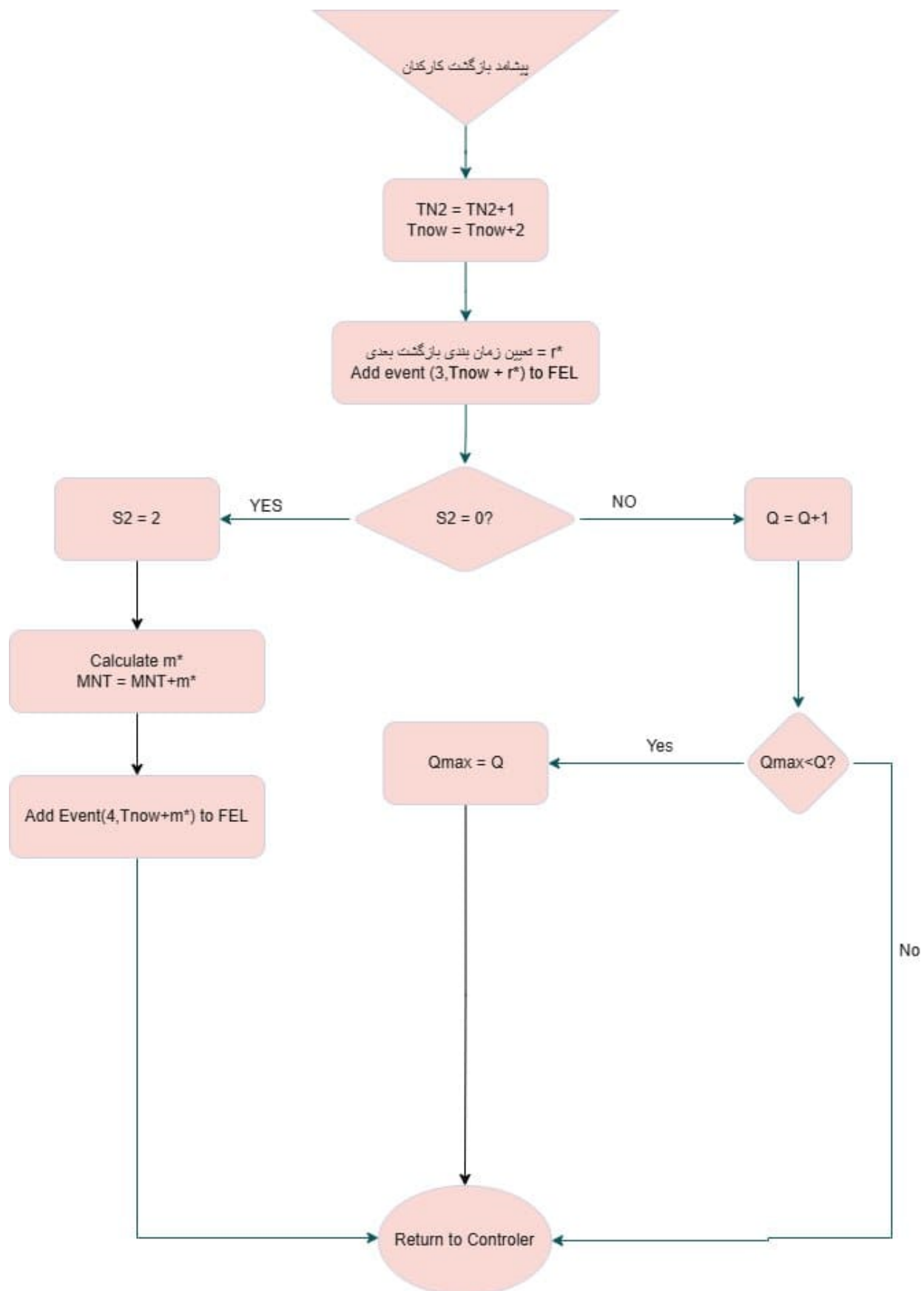
### کنترلر شبیه‌سازی و نمودارهای جریان قسمت الف:











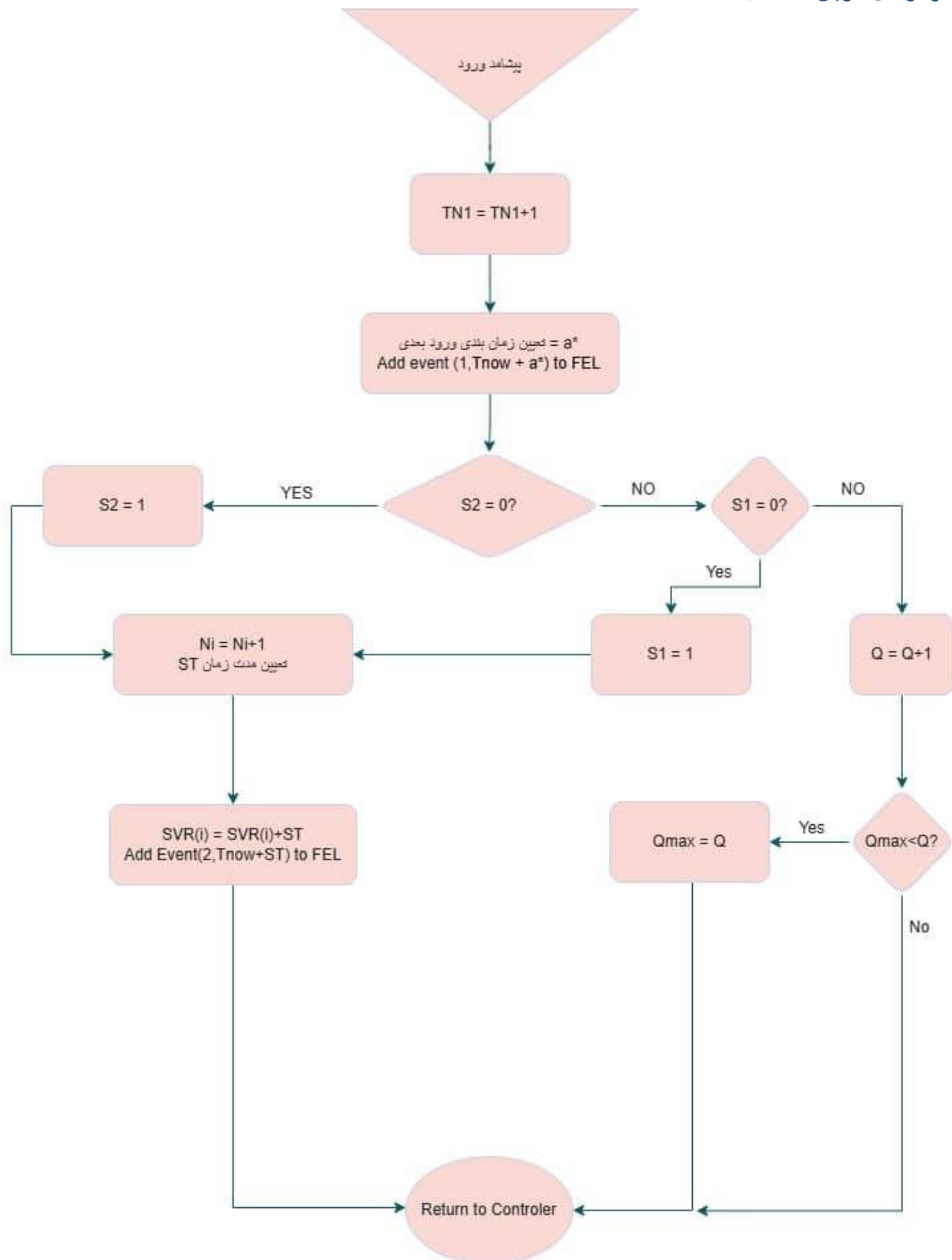
پیشامد اتمام تعمیرکاری

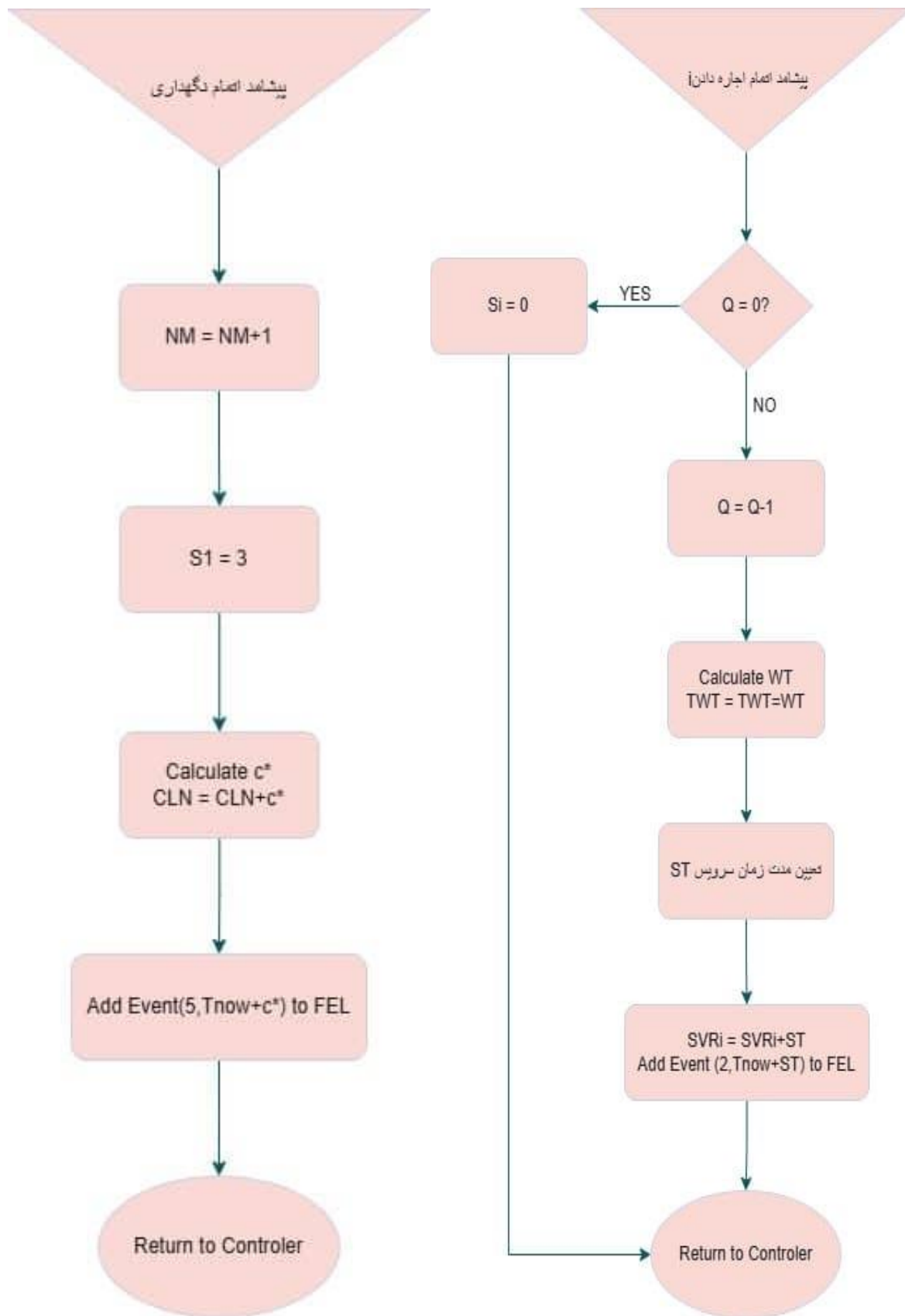
$NC = NC + 1$

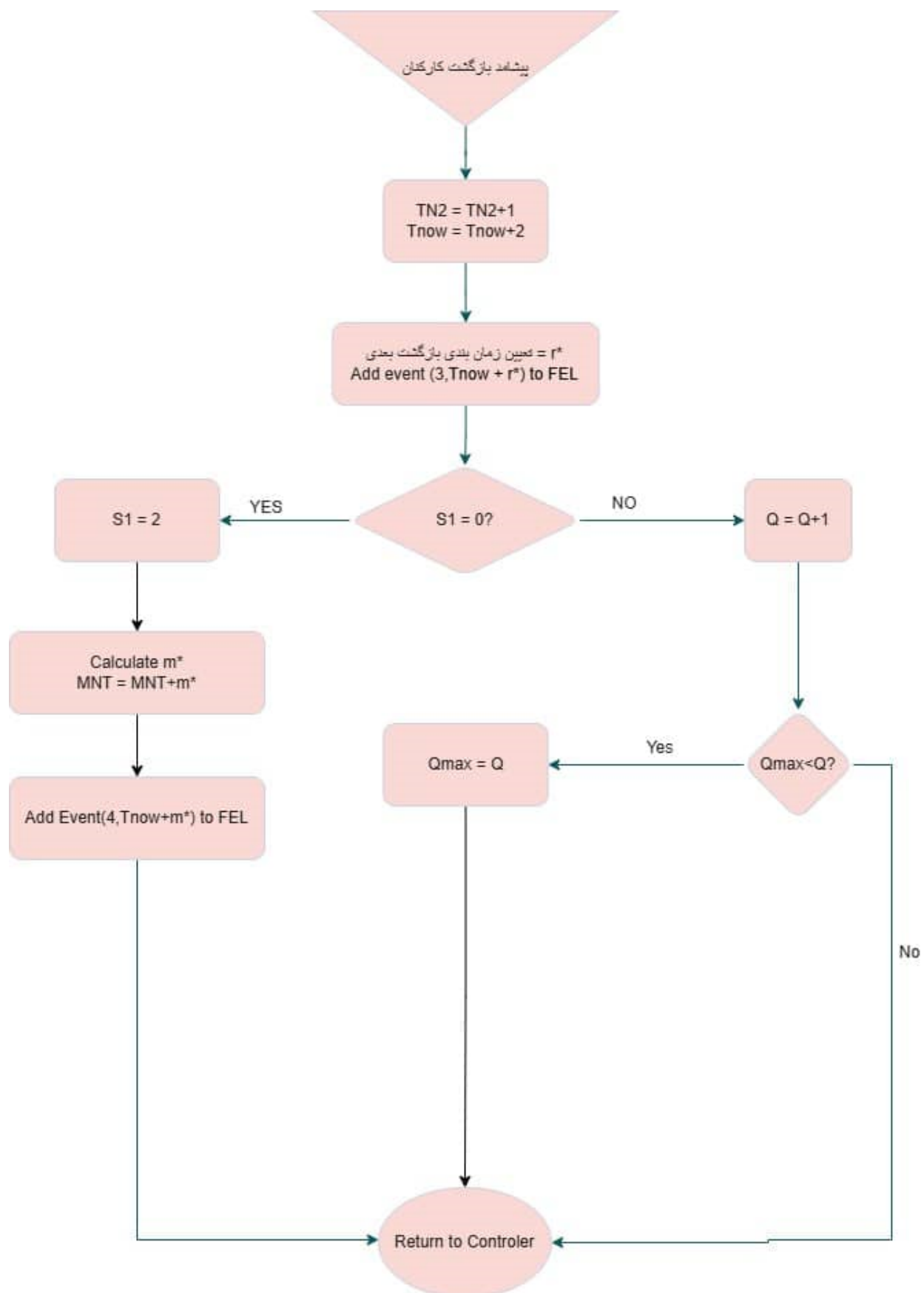
$S2 = 0$

Return to Controler

نمودارهای جریان قسمت ب:







پیشامد: اتمام تعمیرکاری

$NC = NC + 1$

$S1 = 0$

Return to Controler

## فرض‌های ساده ساز

- تعداد ابزارها بینهایت بوده و ابزار به اندازه کافی وجود دارد.
- یک صف مشترک برای اجاره گرفتن یا بازگرداندن ابزار وجود دارد. (تفاوت با کد پیشامدها مشخص می‌شود).
- نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری به صورت یک پکیج و پشت سر هم صورت می‌گیرند.
- زمان شبیه‌سازی که به 600 دقیقه رسید، دیگر ورود و اجاره دادن ابزار به پایان می‌رسد اما تا زمان 660 دقیقه پس گرفتن ابزارها و تعمیرات و نگهداری و تمیزکاری ادامه می‌یابند.
- در زمان 660 دقیقه دیگر تمامی فعالیت‌ها قطع می‌شوند و شبیه‌سازی تمام می‌شود.
- اگر نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری ابزاری زمانی بیشتر از 660 دقیقه و یا همان زمان تمام شدن شبیه‌سازی را نیاز داشت، این اعمال روی آن ابزار صورت نمی‌گیرد زیرا در هر حال عمل به پایان نخواهد رسید.
- در سناریوی سوم یا همان طرح بهبود، یک نفر سوم به نام رهام به کارکنان اضافه می‌شود. این فرد جدید با همان تابع توزیع مراد فعالیت‌های اجاره را انجام می‌دهد.
- در این حالت مراد فقط ابزار اجاره می‌دهد، کیکاووس فقط نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری را انجام می‌دهد و رهام اگر نیاز به اجاره دادن ابزار بود، در آن بخش کمک کرده و اگر در آن بخش نیازی به اون نبود، به نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری ابزار می‌پردازد.
- اولویت رهام در ابتدا کمک به بخش اجاره دادن ابزار و بعد از آن در صورت نبود نیاز به او در آن قسمت، انجام عمل نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری است.

## نتایج به دست آمده

نتایج به دست آمده و خواسته‌های مسئله، به شرح زیر می‌باشند (تنظیمات اولیه سناریو ها):

```
# Simulation configuration parameters
SIMULATION_START = 0      # Start time of the simulation
SIMULATION_END = 600      # Time after which new arrivals stop
CLOSE_TIME = 660          # Final event processing cut-off

# -----
# LCG: Linear Congruential Generator for pseudo-random numbers
# -----
class LCG:
    def __init__(self, seed=1):
        self.a = 1664525
        self.c = 1013904223
        self.m = 2 ** 32
        self.state = seed

    def random(self):
        # Generate a pseudo-random number using the LCG formula
        self.state = (self.a * self.state + self.c) % self.m
        return self.state / self.m

# -----
# Random distribution generators (optionally using LCG)
# -----
def generate_normal_direct(mu, sigma_squared, lcg=None):
    # Generate a normally distributed value using Box-Muller transform
    rand = lcg.random if lcg else random.random()
    R1 = rand()
    R2 = rand()
    Z = math.sqrt(-2 * math.log(R1)) * math.cos(2 * math.pi * R2)
    return max(0.1, mu + math.sqrt(sigma_squared) * Z)

# Time between customer arrivals
def next_arrival(lcg):
    return generate_normal_direct(30, 900, lcg)

# Rental time based on worker type
def rental_time(person, lcg):
    return generate_normal_direct(14, 16, lcg) if person == "K" else generate_normal_direct(10, 25, lcg)

# Time for tool usage by a customer
def usage_duration(lcg):
    return generate_normal_direct(60, 3600, lcg)

# Time taken for maintenance
def maintenance_time(lcg):
    return generate_normal_direct(6, 16, lcg)

# Time taken for cleaning
def cleaning_time(lcg):
    return generate_normal_direct(10, 36, lcg)
```



نتایج به دست آمده برای بخش ب یا همان سناریوی اول:

📌 Confidence Interval Summary Table:

Metric	Point Estimate	95% CI Lower	95% CI Upper
Average Wait Time (min)	1.01	0.68	1.34
Rental Time - K (min)	12.76	10.85	14.67
Rental Time - M (min)	10.09	9.65	10.53
Maintenance Time (min)	6.08	5.87	6.30
Cleaning Time (min)	9.99	9.41	10.57
Average Queue Length	0.39	0.23	0.56
Wait >5 Minutes (%)	7.33	4.81	9.84

نتایج به دست آمده برای بخش ج یا همان سناریوی دوم:

📌 Confidence Interval Summary Table (Scenario 2):

Metric	Point Estimate	95% CI Lower	95% CI Upper
Average Wait Time (min)	1.21	0.80	1.62
Rental Time - K (min)	14.06	13.62	14.50
Rental Time - M (min)	10.11	8.59	11.62
Maintenance Time (min)	6.08	5.87	6.30
Cleaning Time (min)	9.99	9.40	10.57
Average Queue Length	0.51	0.29	0.73
Wait >5 Minutes (%)	9.09	6.30	11.88

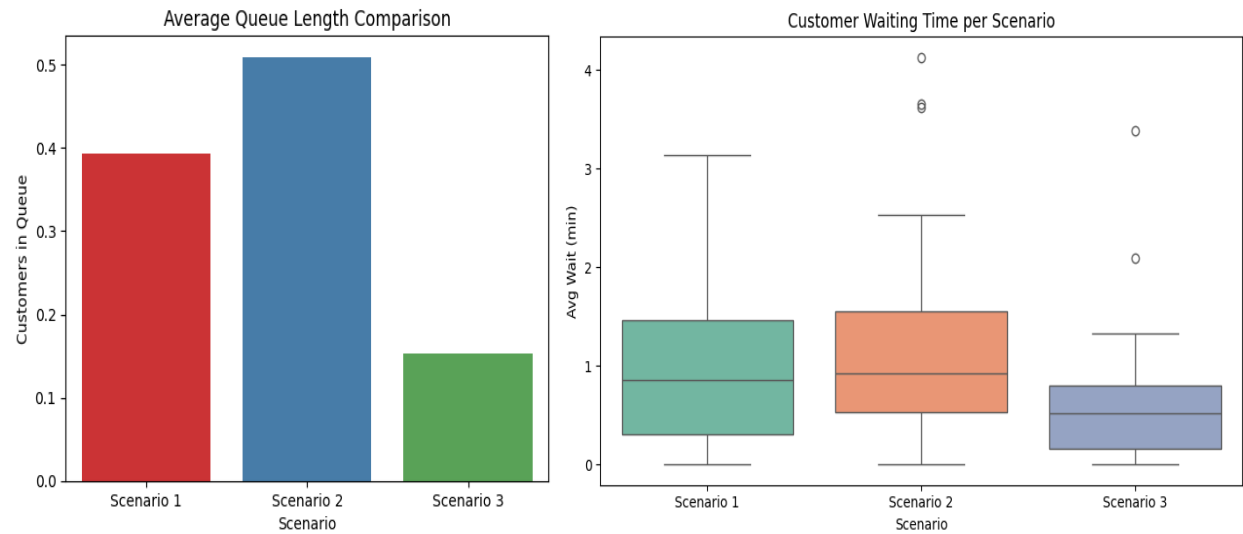
نتایج به دست آمده برای طرح بهبود یا سناریوی سوم:

📌 Confidence Interval Summary Table (Scenario 3):

Metric	Point Estimate	95% CI Lower	95% CI Upper
Avg Wait (min)	0.61	0.35	0.87
Rental K (min)	0.00	0.00	0.00
Rental M (min)	10.16	9.67	10.66
Rental R (min)	10.00	9.10	10.90
Maint. (min)	9.62	9.14	10.10
Clean. (min)	10.31	9.90	10.72
Avg Queue Length	0.15	0.07	0.24
Wait >5 min (%)	3.83	2.16	5.49

نمودارهای مقایسه‌ای برای هر سه سناریو:

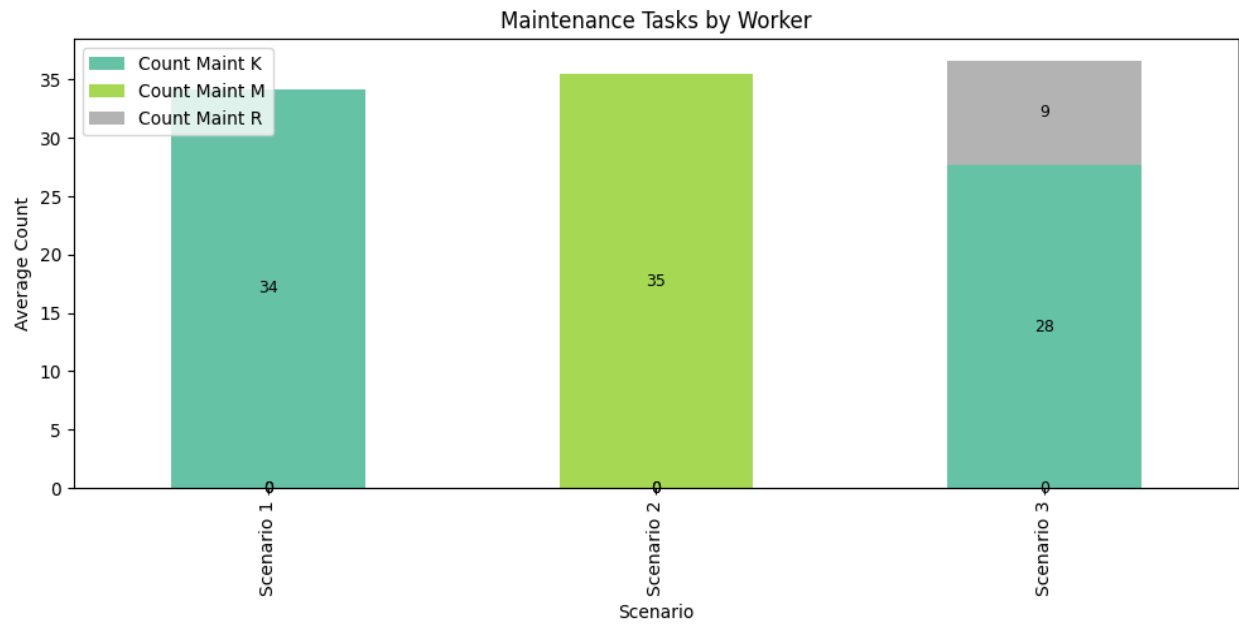
نمودار میانگین طول صف و نمودار میانگین زمان انتظار مشتری در هر سناریو:



نمودار تعداد اجاره دادن‌ها به تفکیک کارکنان:



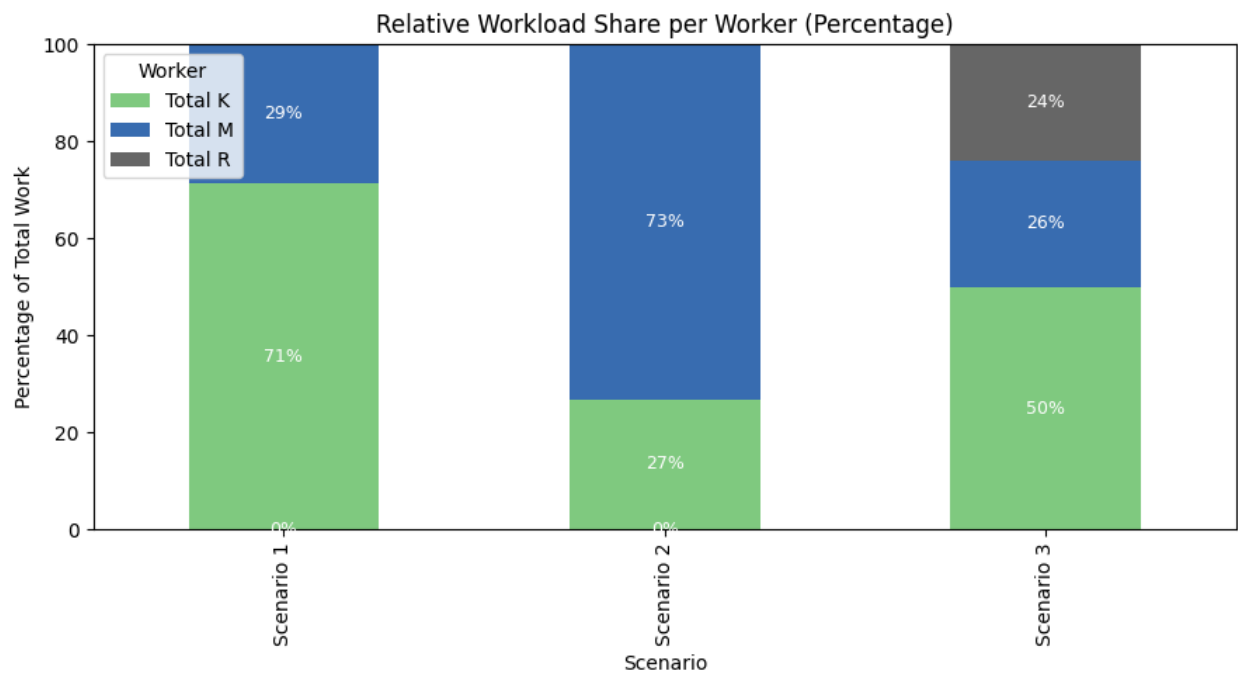
نمودار تعداد تعمیرات و نگهداری انجام شده به تفکیک کارکنان:



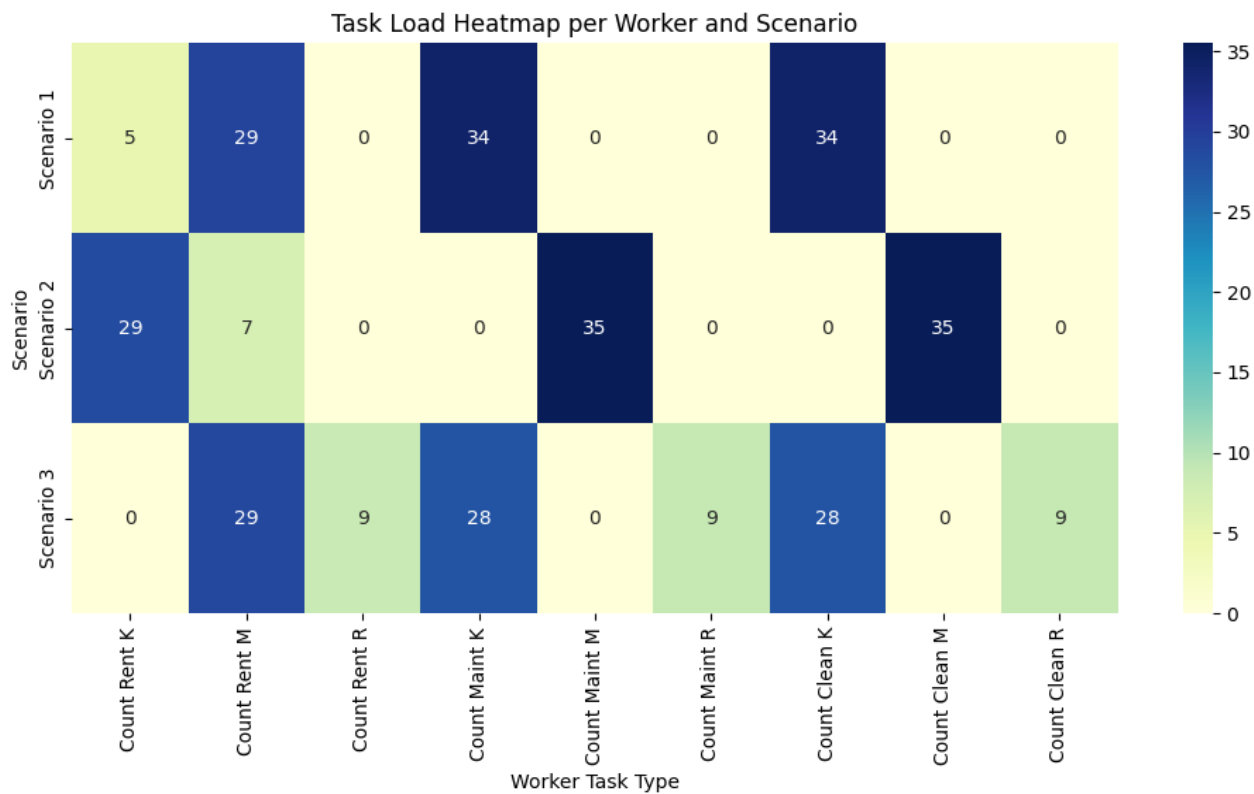
نمودار تعداد تمیزکاری انجام شده به تفکیک کارکنان:



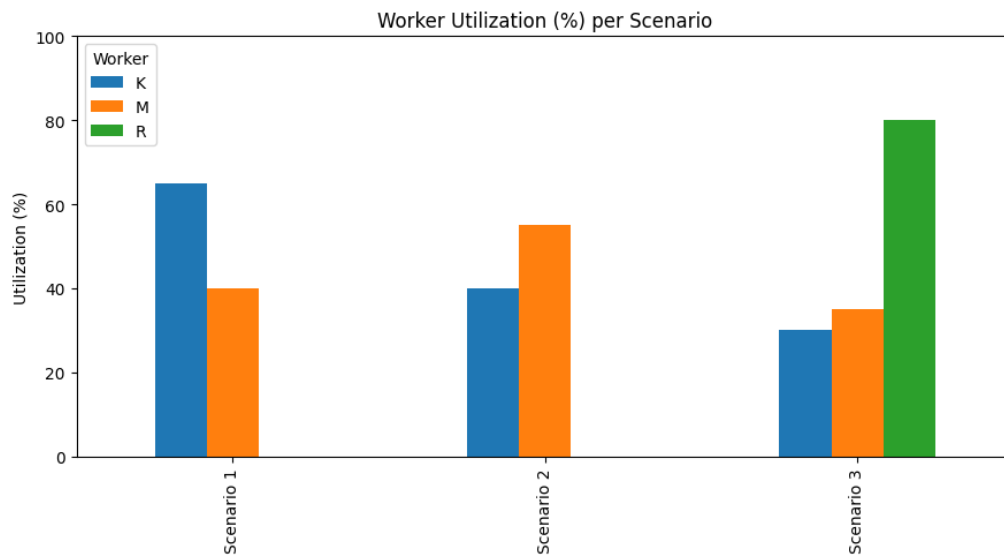
نمودار درصد کار انجام شده توسط کارکنان:



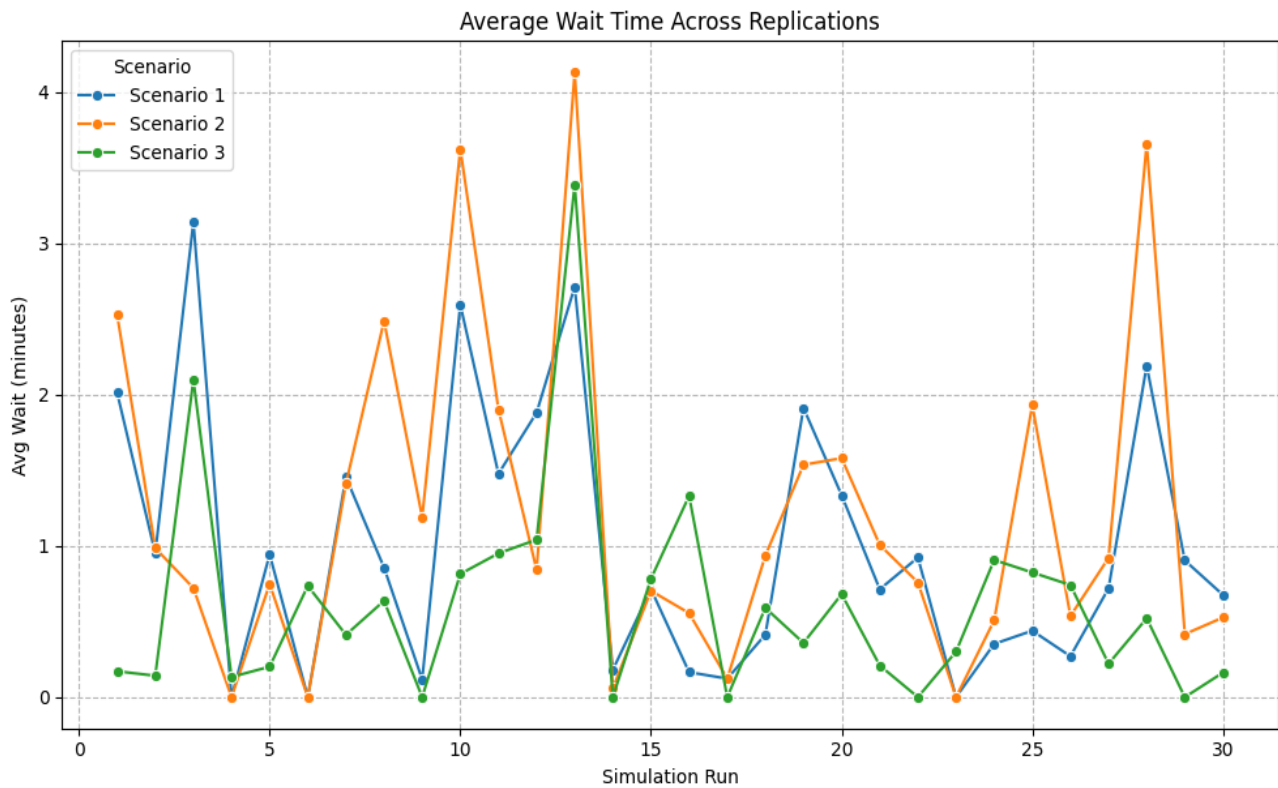
نقشه Heatmap حجم کار انجام شده طبق سناریوها و کارکنان:



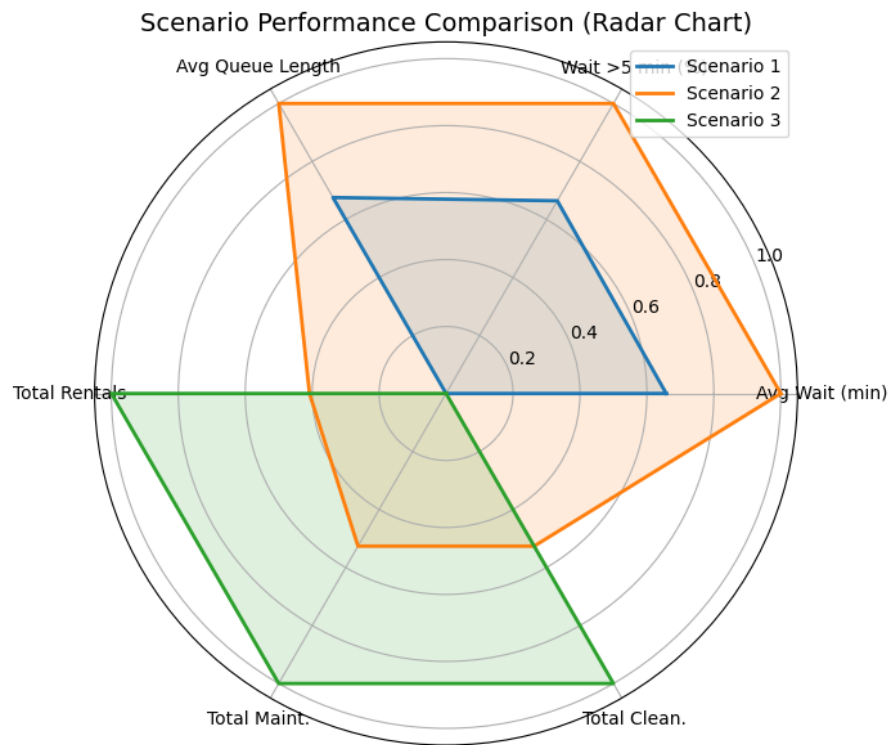
نمودار درصد کارایی کارکنان بر حسب سناریوها:



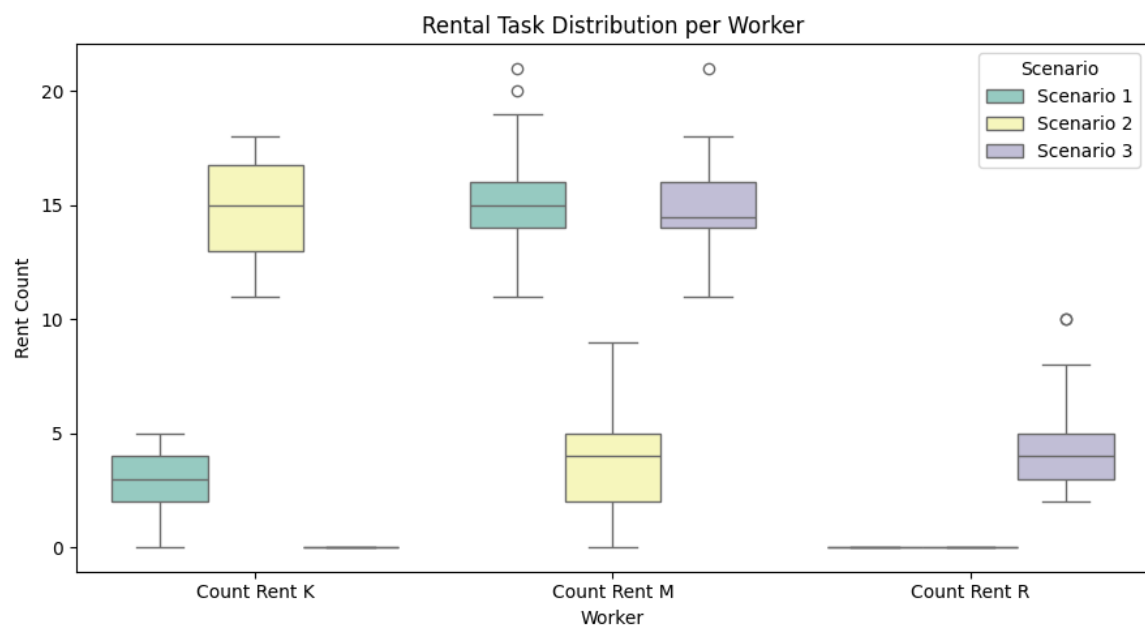
نمودار میانگین زمان انتظار برای سناریوها:



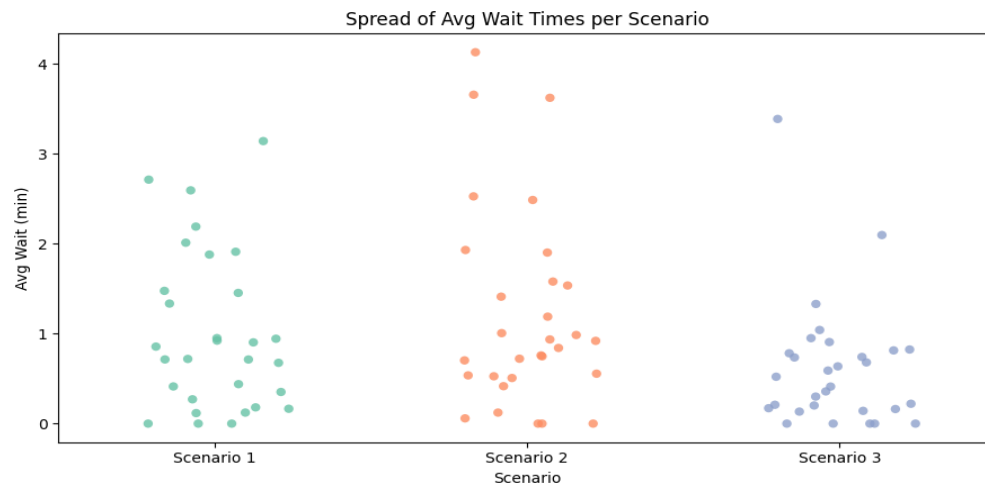
نمودار راداری (عنکبوتی) مقایسه عملکرد سناریوها:



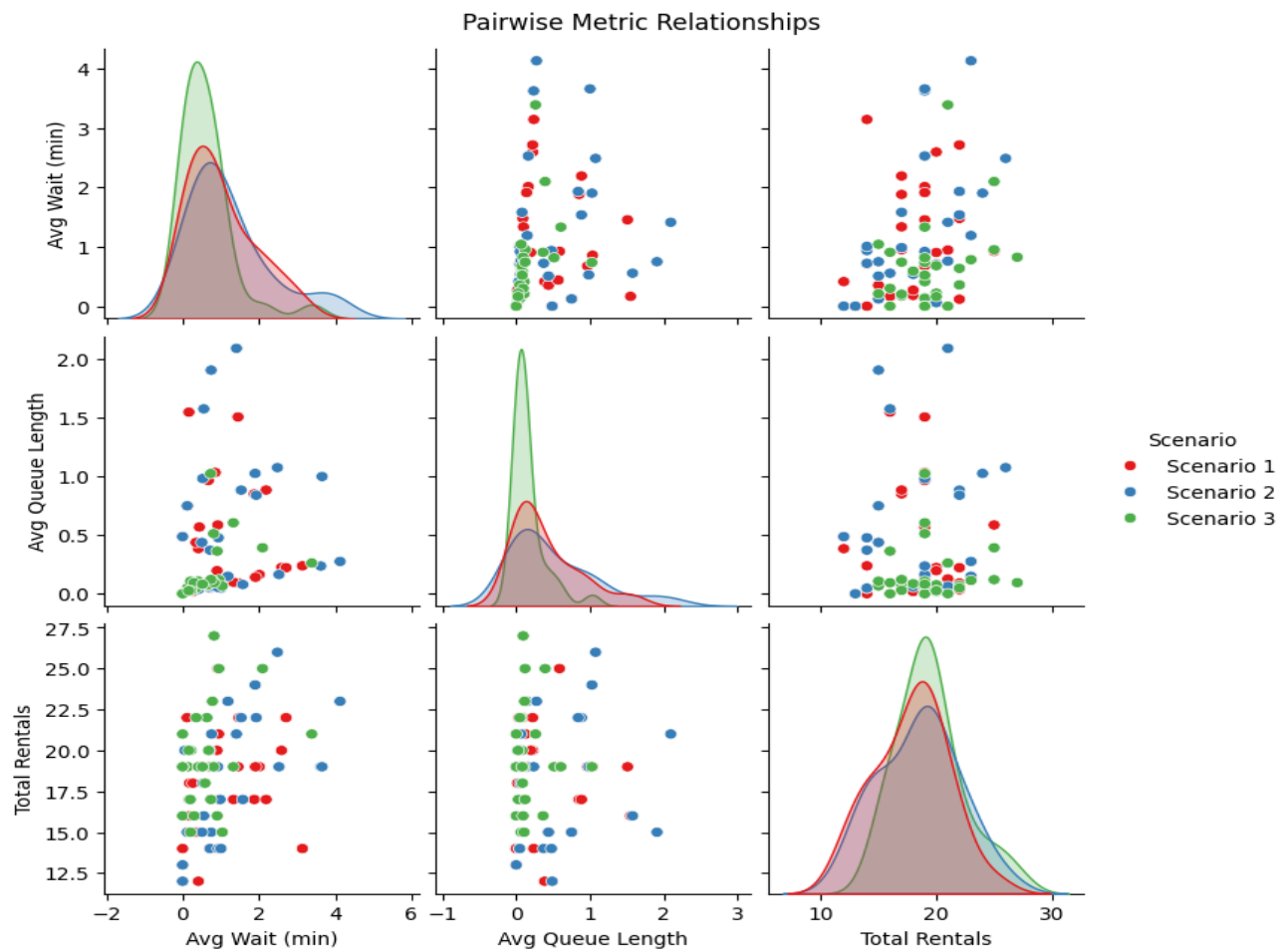
نمودار Box-Plot برای نمایش وضعیت اجاره ها در سناریو های مختلف :



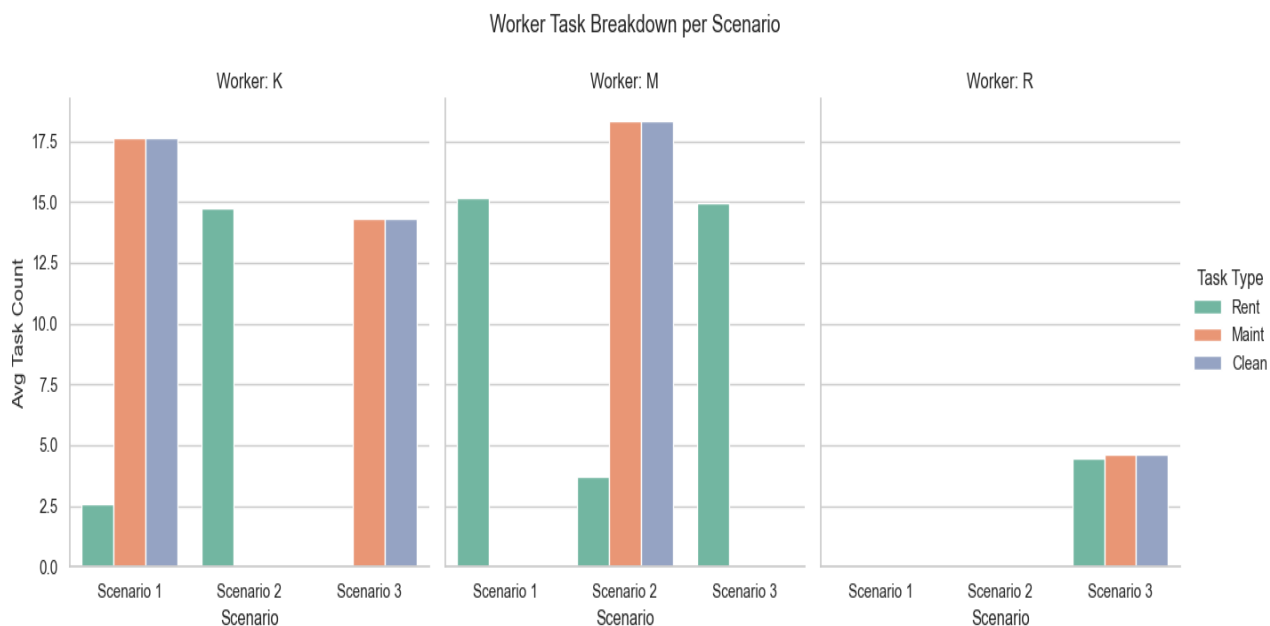
نمودار نمایش نقطه‌ای میانگین زمان انتظار سناریوها:



بررسی همبستگی متریک‌های عملیاتی در سناریوهای مختلف عملکردی :



نمودار میله‌ای تقسیم کار طبق تسک‌های مختلف برای سناریوها:



## تحلیل نتایج و نتیجه‌گیری

طبق نمودارها و نتایج به دست آمده، تمرکز روی صرفاً اجاره دادن ابزار با اولویت دادن به این پیشامد، و یا توجه بیشتر به نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری به همان شکل، هر دو باعث کاهش کارایی سیستم می‌شوند. طبق آزمایشات ما با کد و ایجاد تغییرات در توزیع‌های مسئله، این فاکتورهای بررسی شده در ادامه و معضلات سیستم، با کم کردن فاصله بین ورودها به طرز چشمگیری افزایش یافته و بیشتر نمایان می‌شوند. به همین دلیل برای حل این مشکل ما در طرح بهبود خود، یک کارکن دیگر اضافه کردیم و با اولویت عمل اجاره دادن ابزار، این فرد به هر دو کارکن قبلی در تمامی تسک‌ها کمک می‌کند. همچنین پیشنهاد می‌شود به دلیل کمتر بودن حجم کار نفر سوم، این فرد یک کارآموز یا شخص تازه وارد به سازمان باشد زیرا هم زمان آزاد بیشتری دارد که می‌تواند صرف یادگیری نیز بشود و هزینه‌های متحمل شده برای کارکنان نیز کاهش می‌یابند. ما طرح‌های مختلفی را امتحان کردیم و به تسک‌های مختلفی اولویت دادیم و در آخر نتایج این طرح از بقیه حالات مطلوب‌تر بود. بهبود به وضوح در فاکتورهای زیر با مقایسه هر ۳ سناریو دیده می‌شود:

- تغییرات متوسط مدت انتظار در صف: میانگین زمان انتظار در سناریوی سوم صفر می‌باشد و در سناریوی اول و دوم تقریباً برابر است.



- تغییرات متوسط زمان مورد نیاز برای ارائه هر خدمت: در سناریوی اول برای اجاره دادن، در سناریوی دوم برای نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری و در سناریوی سوم برای تمامی تسک ها کمتر است.
- تغییرات متوسط طول صف: متوسط طول صف در سناریوی اول و دوم تقریباً یکسان است اما در سناریوی سوم تقریباً برابر با صفر می باشد.
- تغییرات نسبت مشتریانی که باید بیش از 5 دقیقه منتظر بمانند: نتیجه این بخش نیز بسیار شبیه به متوسط طول صف شده و این هم در سناریوی سوم برابر با صفر می باشد.
- تغییرات تعداد تسک های انجام شده: در سناریوی اول تعداد تسک اجاره دادن ابزار و در سناریوی دوم تعداد تسک نگهداری و تعمیرات و تمیزکاری ابزار بیشتری رخ داده است. در سناریوی سوم تمامی تسک ها به تعداد بیشتری اتفاق افتاده و بهبود یافته اند.
- تغییرات درصد کارایی کارکنان: در سناریوی اول فشار کاری بیشتر روی کیکاووس، در سناریوی دوم روی مراد و در سناریوی سوم به حد معقولی بین هر سه کارکن پخش شده است. همچنین مرتبط با این بخش درصد کارایی کارکنان در سناریوی سوم بالا می رود.