



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی صنایع

پروژه درس اصول شبیه سازی

نگارندگان:

مهشاد ابراهیمی، امیرحسین پورکریمی

استاد درس:

استاد نفیسه صدقی

پاییز ۱۴۰۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## چکیده

این پروژه با هدف تحلیل و مدل‌سازی سیستماتیک جریان بیماران در یک بیمارستان فرضی که شامل هفت بخش اصلی می‌باشد، انجام می‌شود. در این بیمارستان، بیماران در دو دسته‌ی عادی و اورژانسی پذیرش شده و روند درمانی آن‌ها بر اساس توزیع‌های آماری مشخص در بخش‌های مختلف از جمله اورژانس، اتاق عمل، بخش‌های مراقبت ویژه و بخش عمومی مدیریت می‌شوند.

در فاز اول پروژه، مسئله تعریف و ساختار جریان بیماران و منابع سیستم، از جمله تعداد تخت‌ها، بخش‌های مختلف بیمارستان و توزیع زمان‌های مختلف خدمات، تحلیل و از طریق فلوچارت<sup>۱</sup> به تصویر کشیده شده است. این فاز به عنوان پایه‌ای برای شبیه‌سازی رفتار سیستم با استفاده از ابزارهای برنامه‌نویسی و تحلیل در مراحل بعدی عمل می‌کند. اهداف اصلی این پروژه شامل شناسایی نقاط گلوگاهی سیستم، ارزیابی تاثیر تغییرات احتمالی بر عملکرد کلی بیمارستان و ارائه راهکارهایی برای بهبود می‌باشد. توسعه این مدل شبیه‌سازی امکان بررسی سناریوهای مختلف را فراهم کرده و در تصمیم‌گیری‌های بهینه‌سازی مدیریت بیمارستان نقش موثری ایفا خواهد کرد.

---

<sup>۱</sup>Flowchart

## فهرست

صفحه	عنوان
چکیده .....	ج
طرح مساله .....	ز
فرضیات مدل .....	ط
۱ توصیف سیستم .....	۱
۱,۱ توصیف ایستا سیستم .....	۱
۱,۱,۱ متغیرهای حالت .....	۱
۲,۱,۱ پیشامدها .....	۳
۳,۱,۱ موجودیت‌ها .....	۴
۴,۱,۱ اعلان پیشامدها .....	۵
۵,۱,۱ تاخیرها .....	۶
۶,۱,۱ فعالیت‌ها .....	۷
۷,۱,۱ آماره‌های تجمعی .....	۸
۲,۱ توصیف پویا سیستم .....	۹
۱,۲,۱ پیشامد ورود به بخش اورژانس .....	۹
۲,۲,۱ پیشامد ورود به بخش پیش از جراحی .....	۱۰
۳,۲,۱ پیشامد ورود به بخش آزمایشگاه .....	۱۱
۴,۲,۱ پیشامد خروج از بخش آزمایشگاه .....	۱۲
۵,۲,۱ پیشامد ورود به اتاق عمل .....	۱۳
۶,۲,۱ پیشامد ورود به بخش مراقبت‌های ویژه .....	۱۴
۷,۲,۱ پیشامد ورود به بخش مراقبت‌های ویژه قلبی .....	۱۵
۸,۲,۱ پیشامد ورود به بخش عمومی .....	۱۶
۹,۲,۱ پیشامد خروج از بخش عمومی .....	۱۷

۱۸	۱۰.۲.۱ پیشامد قطع شدن برق
۱۹	۱۱.۲.۱ پیشامد آمدن برق
۲۰	۲. معیارها
۲۰	۱. بیشینه و متوسط تعداد افراد در صف در بخش‌های مختلف
۲۱	۲. متوسط افرادی که هنگام جراحی فوت می‌شوند
۲۱	۳. متوسط افرادی که از دریافت خدمت در بیمارستان محروم شده‌اند
۲۱	۴. متوسط تعداد بیماران ضروی که در بخش اتاق عمل خدمت دریافت می‌کنند
۲۲	۵. متوسط تعداد بیماران عادی که در آزمایشگاه خدمت دریافت می‌کنند
۲۲	۶. متوسط تعداد بیمارانی که در بخش‌های مراقبت‌های ویژه، مراقبت‌های ویژه قلبی و بخش عمومی خدمت دریافت می‌کنند
۲۳	۷. متوسط مدت زمان ماندن در سیستم
۲۳	۸. احتمال پر بودن صف اورژانس
۲۳	۹. میانگین مدت زمان انتظار در صف
۲۴	۱۰. متوسط تعداد دفعات عمل مجدد برای بیماران با عمل پیچیده
۲۴	۱۱. میانگین بهره‌وری تخت‌های بخش‌های مختلف
۲۵	۳. توزیع‌های زمان خدمت‌دهی در اتاق عمل
۲۵	۱,۳ توزیع زمان عمل ساده
۲۷	۲,۳ توزیع زمان عمل متوسط
۳۰	۳,۳ توزیع زمان عمل پیچیده
۳۳	۴. پیاده سازی
۳۳	۵. صحت سنجی و اعتبارسنجی
۳۳	۱,۵ ردیابی
۳۴	۲,۵ تحلیل حساسیت
۳۶	۶. نتایج عددی شبیه‌سازی
۴۱	۷. طرح تغییرات در سیستم اولیه
۴۲	۱,۷ تحلیل سرد و گرم روی سیستم

- ۴۷..... مقایسه آماری سیستم اول و دوم
- ۴۷..... مقایسه به روش نمونه‌گیری مستقل
- ۴۸..... مقایسه معیارهای ارزیابی عملکرد
- ۴۹..... سیاست‌های بهبود در سیستم

## طرح مساله

یک بیمارستان فرضی با هفت بخش اصلی به عنوان موضوع این پروژه در نظر گرفته شده است. بخش‌های این بیمارستان شامل بخش پیش از بستری<sup>۱</sup> برای آماده‌سازی بیماران عادی، اورژانس برای مدیریت بیماران ضروری، آزمایشگاه جهت انجام آزمایش‌های اولیه، اتاق عمل برای جراحی بیماران، بخش عمومی برای بستری بیماران دارای جراحی ساده، بخش مراقبت‌های ویژه<sup>۲</sup> برای بیماران با جراحی پیچیده و شرایط حاد و بخش مراقبت‌های ویژه قلبی<sup>۳</sup> مخصوص بیمارانی با جراحی‌های قلبی می‌باشد.

در این بیمارستان، بیماران در دو دسته عادی و اورژانسی پذیرش شده و بیماران عادی با برنامه‌ریزی قبلی و از طریق پزشک معالج به بیمارستان مراجعه کرده و معمولاً دو روز پیش از جراحی در بخش پیش از جراحی پذیرش می‌شوند. در مقابل، بیماران ضروری که به دلیل شرایط اضطراری یا وقوع حادثه به بیمارستان آورده می‌شوند، بلافاصله پس از ورود در صورت وجود تخت خالی در اتاق عمل تحت جراحی قرار می‌گیرند. روند ورود این بیماران بر اساس توزیع احتمالی پواسون با نرخ مشخص صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که احتمال مراجعه بیماران عادی به بیمارستان ۷۵ درصد و بیماران ضروری ۲۵ درصد می‌باشد. همچنین بیماران ضروری با احتمال ۰,۵ ممکن است به صورت گروهی وارد شوند؛ که این گروه‌های بیماران ضروری ممکن است متشکل از ۲ تا ۵ نفر باشند. این تعداد بر اساس یک توزیع یکنواخت گسسته تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به امکانات موجود در بیمارستان حداکثر ۱۰ نفر از بیماران ضروری می‌توانند در صف ورود به اورژانس و درون آمبولانس‌ها نگه‌داری شوند.

پس از پذیرش، تمام بیماران باید آزمایش‌های اولیه‌ای را در آزمایشگاه انجام دهند که در اینجا بیماران ضروری نسبت به بیماران عادی در اولویت قرار دارند. زمان مورد نیاز برای انجام این آزمایش‌ها برای هر بیمار به صورت تصادفی و در محدوده مشخصی تعیین می‌شود. پس از تکمیل آزمایش‌ها، بیماران به اتاق عمل منتقل شده و جراحی بیماران بر اساس سه سطح پیچیدگی شامل جراحی ساده، متوسط و پیچیده انجام می‌شود. داده‌های تاریخی بیمارستان نشان می‌دهند که ۵۰ درصد از جراحی‌ها ساده، ۴۵ درصد متوسط و ۵ درصد پیچیده می‌باشند. مدت زمان هر جراحی نیز بر اساس توزیع آماری مختص به آن مشخص می‌شود.

---

Pre-surgery  
ICU  
CCU

پس از اتمام جراحی، بیماران بر اساس نوع عمل و شرایط جسمانی خود به بخش‌های مختلف بیمارستان منتقل می‌شوند. بیمارانی که تحت جراحی ساده قرار گرفته‌اند، معمولاً به بخش عمومی منتقل می‌شوند همچنین بیمارانی که جراحی متوسط داشته‌اند، بسته به وضعیت سلامتی خود ممکن است به بخش عمومی، بخش مراقبت‌های ویژه و یا بخش مراقبت‌های ویژه قلبی منتقل شوند. در مورد جراحی‌های پیچیده نیز اکثر بیماران به بخش مراقبت‌های ویژه فرستاده می‌شوند اما بیمارانی که جراحی قلبی داشته‌اند به بخش مراقبت‌های ویژه قلبی فرستاده می‌شوند. بیماران ممکن است پس از انجام جراحی دچار وخامت حال شده و به جراحی مجدد نیاز پیدا کنند. همچنین احتمال فوت در میان بیماران با جراحی پیچیده وجود دارد که در این صورت به بخش سردخانه منتقل می‌شوند. چالش‌های مهم این بیمارستان شامل مدیریت منابع محدود، از جمله تعداد تخت‌ها در بخش‌های مختلف و زمان آماده‌سازی اتاق عمل پس از هر جراحی می‌باشد. این بیمارستان با ۱۰ تخت در بخش پیش از جراحی، ۱۰ تخت در بخش اورژانس، ظرفیت ۳ بیمار به صورت همزمان در آزمایشگاه، ۵ تخت در اتاق عمل، ۴۰ تخت در بخش عمومی، ۲۵ تخت در بخش مراقبت‌های ویژه و ۵ تخت در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی فعالیت می‌کند. در صورت قطع برق که به صورت تصادفی ممکن است رخ دهد، ژنراتورهای بیمارستان قادر به تامین برق تنها ۸۰ درصد از تخت‌های بخش مراقبت‌های ویژه و مراقبت‌های ویژه قلبی می‌باشند.

در پایان لازم به ذکر است که این پروژه با هدف شبیه‌سازی و مدل‌سازی سیستم بیمارستان به منظور شناسایی نقاط گلوگاهی، بهینه‌سازی منابع و تحلیل تاثیر تغییرات مختلف بر عملکرد کلی سیستم انجام می‌شود.



## فرضیات مدل

در خصوص مدلسازی که کردیم یکسری فرضیات در نظر گرفته شده است که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۱- به محض ورود بیمار به بیمارستان تمام ویژگی‌های آن ایجاد می‌شود. در ادامه برای شفافیت بیشتر راجع به برخی ویژگی‌ها توضیح می‌دهیم. در صورتی که نوع عمل در ویژگی (j) پیچیده باشد، ویژگی (j') یکی از مقادیر عمل قلبی و یا غیرقلبی را می‌گیرد. اگر عمل غیر از حالت پیچیده باشد، (j') مقدار صفر می‌گیرد. در ویژگی (k) مشخص می‌کنیم بیمار با توجه به عملی که در ویژگی (j) دارد، بعد از عمل به کدام بخش مراجعه می‌کند. ویژگی (O) مشخص می‌کند که آیا ورود گروهی بوده است یا خیر. اگر ورود گروهی باشد ویژگی (O') با توجه به توزیع مطرح شده در مساله مقدار می‌گیرد؛ در غیر این صورت به صورت پیش‌فرض یک می‌شود. در نهایت ویژگی (P) بیان می‌کند که آخرین بخشی که بیمار در آن بستری بوده، چیست. این ویژگی می‌تواند دارای مقادیر اتاق عمل، مراقبت‌های ویژه، مراقبت ویژه قلبی و عدد صفر باشد. بیمار به صورت پیش‌فرض دارای ویژگی (P = None) است تا زمانی که وارد اتاق عمل بشود.

۲- در این مدلسازی فرض بر این گرفته شده است که زمان آماده‌سازی اتاق عمل همراه با زمان انجام عمل در نظر گرفته می‌شود. این بدین معنی است که وقتی زمان انجام عمل بیماری تمام می‌شود و آماده رفتن به مرحله بعدی است؛ به این زمان ده دقیقه دیگر اضافه می‌کنیم و سپس بعد از آن بیمار بعدی می‌تواند وارد شود.

۳- وقتی بیمار از اتاق عمل خارج می‌شود و یا در حقیقت عمل او تمام شده است، به محض ورود به بخش مراقبت ویژه یا قلبی بررسی می‌شود که آیا بیمار دچار وخامت حال می‌شود یا خیر (لازم به ذکر است که پیشامد ورود به بخش مراقبت‌های ویژه و قلبی به نوعی همان پیشامد خروج از اتاق عمل می‌باشند). سپس اگر بیمار دچار وخامت حال شود، برای او پیشامد ورود به اتاق عمل را در نظر می‌گیریم. اگر بیمار دچار وخامت حال نشود پیشامد ورود به این بخش‌ها را ادامه می‌دهیم. علت در نظر گرفتن این فرض نداشتن توزیع لازم برای مدت زمان سپری شده برای وخامت بیمار است. اگر در اینجا بیمار دچار وخامت حال شود، ویژگی (i) را نیز برایش یک می‌گذاریم تا بیمار اورژانسی به حساب بیاید.

- ۴- هنگام ورود گروهی اگر در اورژانس به تعداد تمام افراد وارد شده ظرفیت تخت نداشته باشیم، بیماران بیمارستان را ترک می‌کنند و از خدمت محروم می‌شوند. بنابراین برای ورود گروهی ظرفیت آمبولانس‌ها بررسی نمی‌شود و اهمیتی ندارد.
- ۵- لازم به ذکر است که طبق خواسته مساله از در نظر گرفتن انتقال بیمار از بخش عمومی به بخش‌های مراقبت ویژه و قلبی صرف نظر شده است.
- ۶- هنگام ورود بیماران بخش اورژانس و پیش از جراحی به آزمایشگاه، تخت آن‌ها برایشان محفوظ باقی می‌ماند.
- ۷- بیمارانی که هنگام ورود به بخش پیش از جراحی برای آن‌ها ظرفیتی وجود ندارد، به صف بیماران منتظر نوبت‌دهی اضافه می‌شوند. در حقیقت فرض شده است که این بیماران با هماهنگی وقت خود را برای عمل تعیین می‌کنند؛ عملاً در صف می‌مانند تا زمانی که برای آن‌ها تختی خالی ایجاد شود.
- ۸- همچنین در مدل فرض شده است که بیمار بعد از اتمام عمل اگر به صف هر یک از بخش‌ها برود، تخت اتاق عمل او را آزاد کرده و در صورت وجود بیمار در صف، عمل او آغاز می‌شود.

## ۱ توصیف سیستم

### ۱,۱ توصیف ایستا سیستم

#### ۱,۱,۱ متغیرهای حالت

متغیرهای حالت	
تعداد بیماران در صف نوبت‌دهی	NQA(t)
تعداد بیماران عادی در صف آزمایشگاه	NQL(t)
تعداد بیماران اورژانسی در صف آزمایشگاه	NUQL(t)
تعداد بیماران اورژانسی در صف اتاق عمل	NUQOR(t)
تعداد بیماران عادی در صف اتاق عمل	NQOR(t)
تعداد بیماران در صف مراقبت‌های ویژه قلبی <sup>۱</sup>	NQCCU(t)
تعداد بیماران در صف مراقبت‌های ویژه <sup>۲</sup>	NQICU(t)
تعداد بیماران در صف بخش عمومی	NQG(t)
تعداد بیمارانی که از اورژانس می‌روند و از خدمت محروم می‌شوند	ND(t)
تعداد بیماران فوت شده	NDE(t)
تعداد بیماران عادی در حال خدمت در آزمایشگاه	NL(t)
تعداد بیماران اورژانسی در حال خدمت در آزمایشگاه	NUL(t)
تعداد بیماران عادی در حال خدمت در اتاق عمل	NOR(t)

<sup>۱</sup>CCU  
<sup>۲</sup>ICU

تعداد بیماران اورژانسی در حال خدمت در اتاق عمل	NUOR(t)
تعداد تخت‌های پر بخش پیش از جراحی	NBPreS(t)
تعداد تخت‌های پر بخش اورژانس	NBEM(t)
تعداد آمبولانس‌های پر (در حقیقت تعداد آمبولانس‌های پر همان بیماران در صف اورژانس هستند)	NBAM(t)
تعداد تخت‌های پر آزمایشگاه	NBL(t)
تعداد تخت‌های پر اتاق عمل	NBOR(t)
تعداد تخت‌های پر بخش CCU	NBCCU(t)
تعداد تخت‌های پر بخش ICU	NBICU(t)
تعداد تخت‌های پر بخش عمومی	NBG(t)
تعداد بیماران خروجی از بیمارستان	NES(t)
تعداد تخت‌های موجود در بخش CCU در لحظه	Available_ICU(t)
تعداد تخت‌های موجود در بخش ICU در لحظه	Available_CCU(t)

---

ورود به بخش اورژانس	EA
ورود به بخش پیش از جراحی	PA
ورود به بخش آزمایشگاه	LA
خروج از بخش آزمایشگاه	DL
ورود به اتاق عمل	ORA
ورود به بخش مراقبت‌های ویژه قلبی	CCUA
ورود به بخش مراقبت‌های ویژه	ICUA
ورود به بخش عمومی	GA
خروج از بخش عمومی	DG
قطع شدن برق	PC
آمدن برق	PR
پایان شبیه سازی	E

بیمار شماره (r) با ویژگی‌های  $i, j, z, j', O, K, O', P$  و  $(P_{ijj'KOO'P}^r)$

ویژگی‌ها:

۱. نوع بیمار ( $\{i \in \{۱ : \text{عادی} : ۰, \text{اورژانسی} : ۱\}\}$ )
۲. نوع عمل ( $\{j \in \{S : \text{ساده}, M : \text{متوسط}, C : \text{پیچیده}\}\}$ )
۳. نوع عمل پیچیده ( $\{j' \in \{CU : \text{غیرقلبی}, CC : \text{قلبی}\}\}$ )
۴. بخشی که بیمار می‌رود ( $\{C : \text{بخش مراقبت‌های ویژه قلبی}, I : \text{بخش مراقبت‌های ویژه}, OR : \text{بخش مراقبت‌های ویژه قلبی}\}$ )
۵. نوع ورود بیمار اورژانسی ( $\{O \in \{۱ : \text{غیرگروهی} : ۰, \text{گروهی} : ۱\}\}$ )
۶. تعداد بیمارها در ورود گروهی ( $\{O' \in \{۱, ۲, ۳, ۴, ۵\}\}$ )
۷. آخرین بخشی که بیمار در آن بوده است بود ( $\{O : \text{وارد اتاق عمل نشده} : ۰, \text{اتاق عمل} : OR, \text{بخش مراقبت‌های ویژه قلبی} : CCU, \text{بخش مراقبت‌های ویژه} : ICU\}$ )

<sup>۸</sup>Entities

$(EA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(PA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(LA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(DL, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(ORA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(CCUA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(ICUA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(GA, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(DG, t, P_{ijz}^{r'KOO'P})$

$(PC, t)$

$(PR, t)$

$(E, t)$

\* در شروع شبیه‌سازی ( $t = 0$ ) پیشامدهای  $PA, E, PC$  و  $PR$  وارد لیست اعلان پیشامدها می‌شوند.

<sup>۹</sup>Event notice

بیمار در صف‌های نوبت‌دهی، اورژانس، آزمایشگاه، اتاق عمل، بخش مراقبت‌های ویژه، مراقبت‌های ویژه قلبی و عمومی منتظر می‌ماند. صف اورژانس در حقیقت همان متغیر آمبولانس‌های پر می‌باشد.



- (۱) مدت زمان انجام کار اداری در بخش پیش از جراحی که از توزیع قطعی ۶۰ دقیقه پیروی می‌کند. ( $S_1^*$ )
- (۲) مدت زمان انجام کار اداری در بخش اورژانس که از توزیع قطعی ۱۰ دقیقه پیروی می‌کند. ( $S_2^*$ )
- (۳) مدت زمان انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه که دارای توزیع یکنواخت بین ۲۸ تا ۳۲ دقیقه می‌باشد. ( $S_3^*$ )
- (۴) مدت زمان بستری شدن در بخش پیش از جراحی بعد از آزمایشگاه که از توزیع قطعی ۲ روز پیروی می‌کند. ( $S_4^*$ )
- (۵) مدت زمان بستری شدن در اورژانس پس از انجام آزمایش‌ها که دارای توزیع مثلثی با کمینه، میانگین و بیشینه ۵، ۷۵ و ۱۰۰ است. ( $S_5^*$ )
- (۶) مدت زمان انجام عمل ساده که از توزیع نرمال ( $X_1 \sim N(30, 22, 5, 96)$ ) پیروی می‌کند. ( $S_6^*$ )
- (۷) مدت زمان انجام عمل متوسط که از توزیع نرمال ( $X_2 \sim N(75, 54, 9, 95)$ ) پیروی می‌کند. ( $S_7^*$ )
- (۸) مدت زمان انجام عمل پیچیده که از توزیع نرمال ( $X_3 \sim N(242, 03, 63, 27)$ ) پیروی می‌کند. ( $S_8^*$ )
- (۹) مدت زمان بستری شدن در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی که از توزیع نمایی با پارامتر ۲۵ ساعت پیروی می‌کند. ( $S_9^*$ )
- (۱۰) مدت زمان بستری شدن در بخش مراقبت‌های ویژه که از توزیع نمایی با پارامتر ۲۵ ساعت پیروی می‌کند. ( $S_{10}^*$ )
- (۱۱) مدت زمان بستری شدن در بخش عمومی که از توزیع نمایی با پارامتر ۵۰ ساعت پیروی می‌کند. ( $S_{11}^*$ )
- (۱۲) مدت زمان آماده سازی اتاق عمل که از توزیع قطعی پیروی می‌کند و ۱۰ دقیقه می‌باشد. ( $S_{12}^*$ )
- (۱۳) مدت زمانی که برق می‌رود که از توزیع قطعی پیروی می‌کند و ۱ روز می‌باشد. ( $S_{13}^*$ )
- (۱۴) مدت زمانی که برق داریم (یا به عبارتی مدت زمان بین دو قطعی برق). ( $S_{14}^*$ )

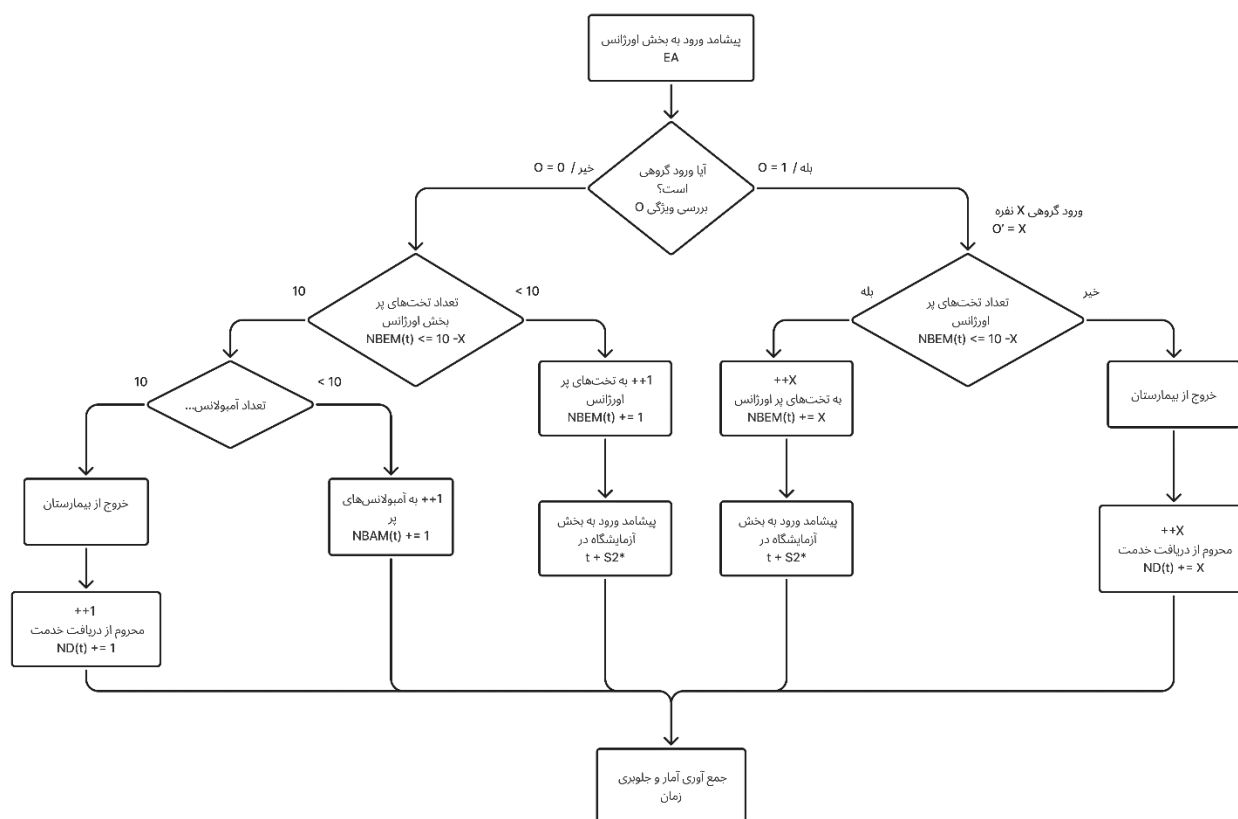
## ۷,۱,۱ آماره‌های تجمعی

---

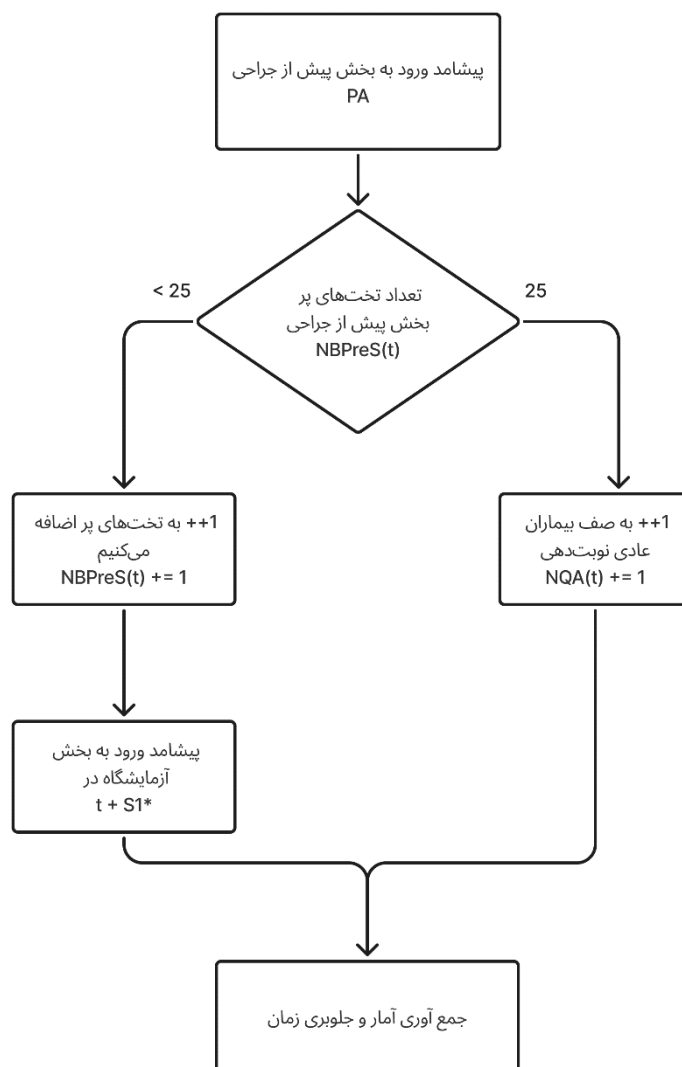
در این پروژه و کد شبیه‌سازی که زده شده، به صورت کلی سیاست بر این بوده است که تمامی اطلاعات بیماران در تمامی بخش‌ها ذخیره شود. در نهایت با استفاده از این آماره‌های تجمعی خروجی‌های لازم برای سیستم را به محاسبه می‌کنیم. در حالت کلی آماره‌های تجمعی این سیستم شامل مدت زمان انتظار بیمار در تمامی بخش‌ها برای محاسبه میانگین زمان انتظار، مساحت زیر نمودار طول صف بر حسب زمان در تمامی بخش‌ها برای محاسبه میانگین طول صف، مدت زمان مشغول بودن بخش‌ها و تعداد افرادی که خدمت می‌گیرند برای محاسبه بهره‌وری می‌باشد.

## ۲,۱ توصیف پویا سیستم

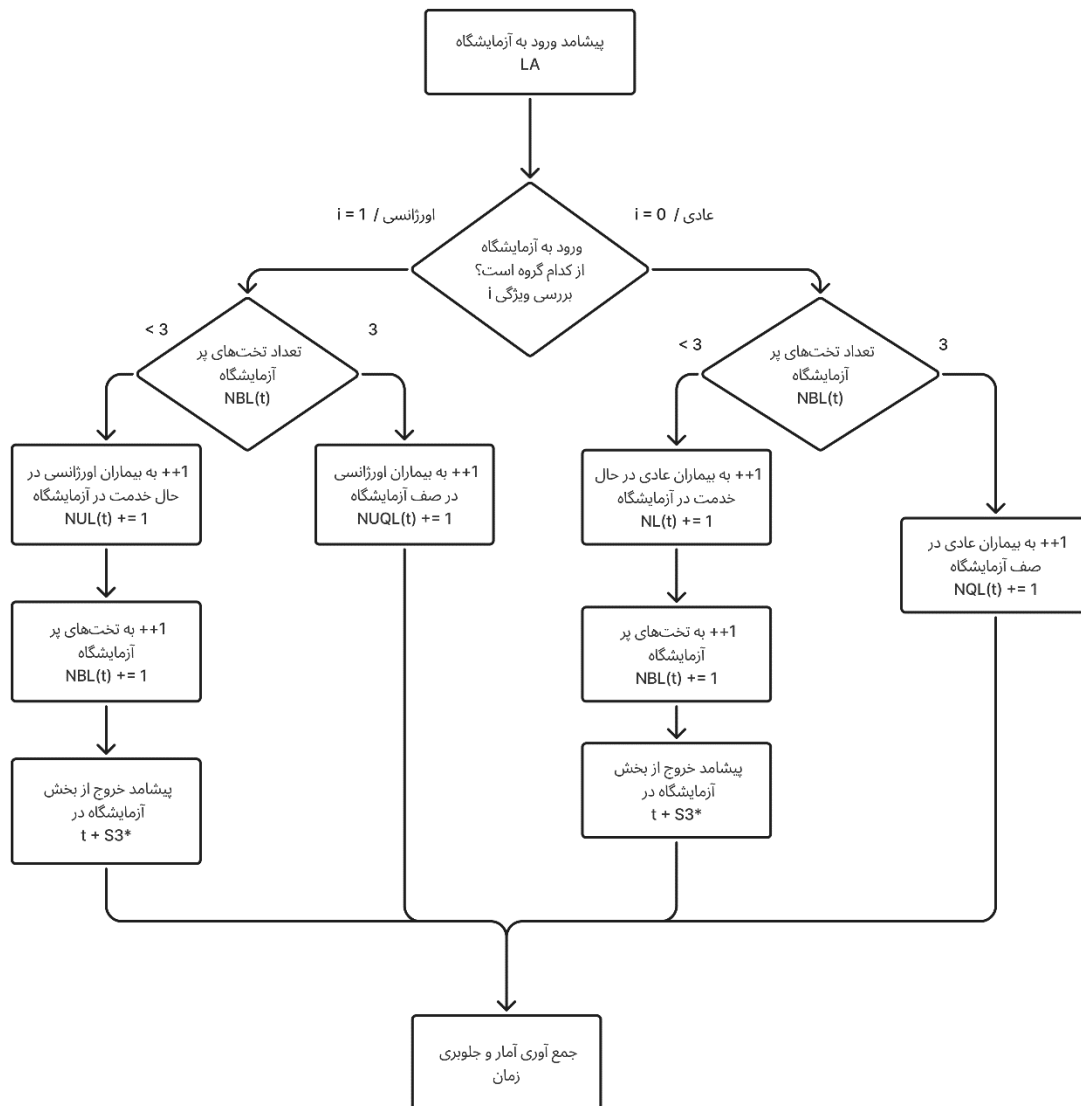
### ۱,۲,۱ پیشامد ورود به بخش اورژانس



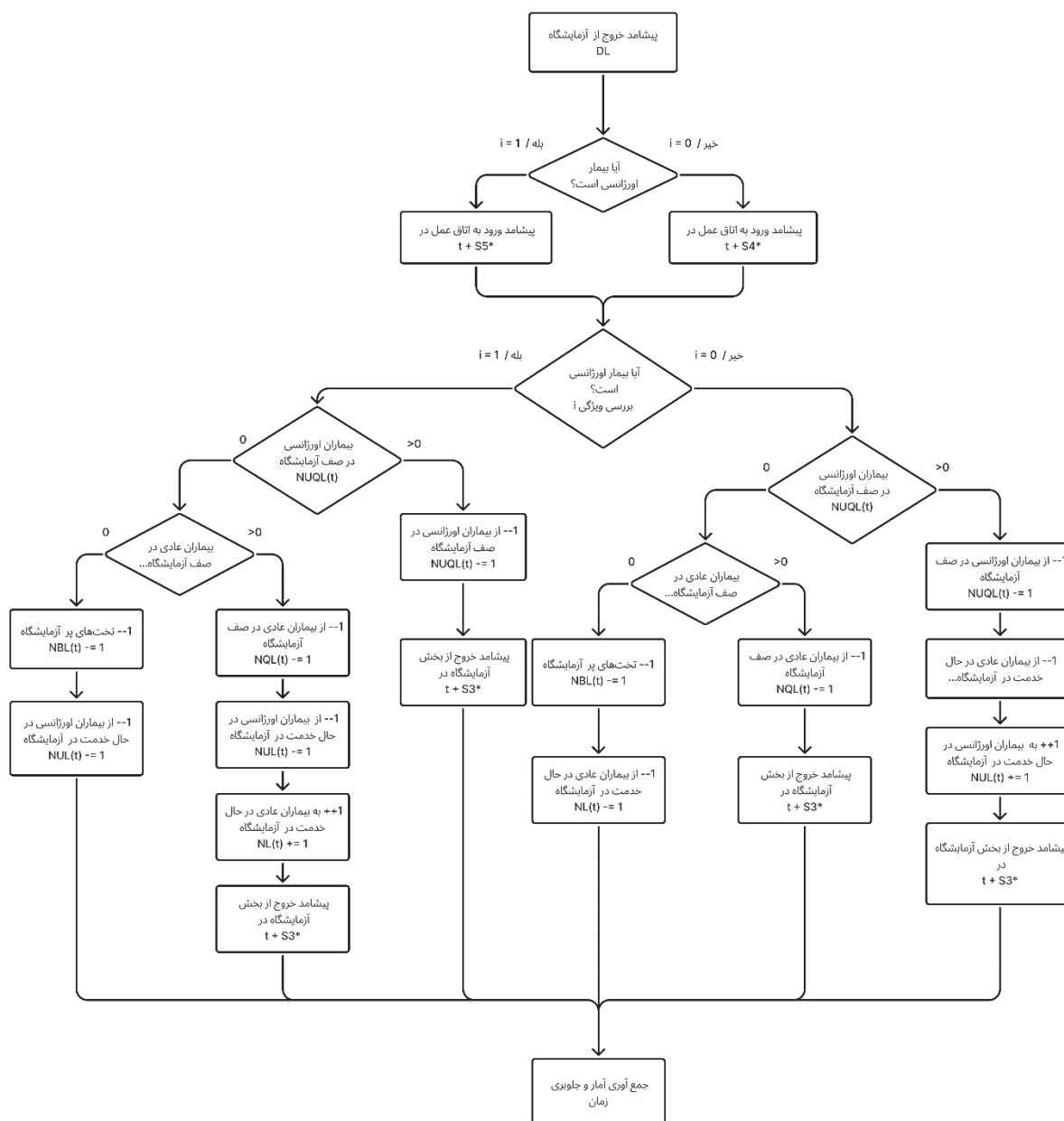
## ۲,۲,۱ پیشامد ورود به بخش پیش از جراحی



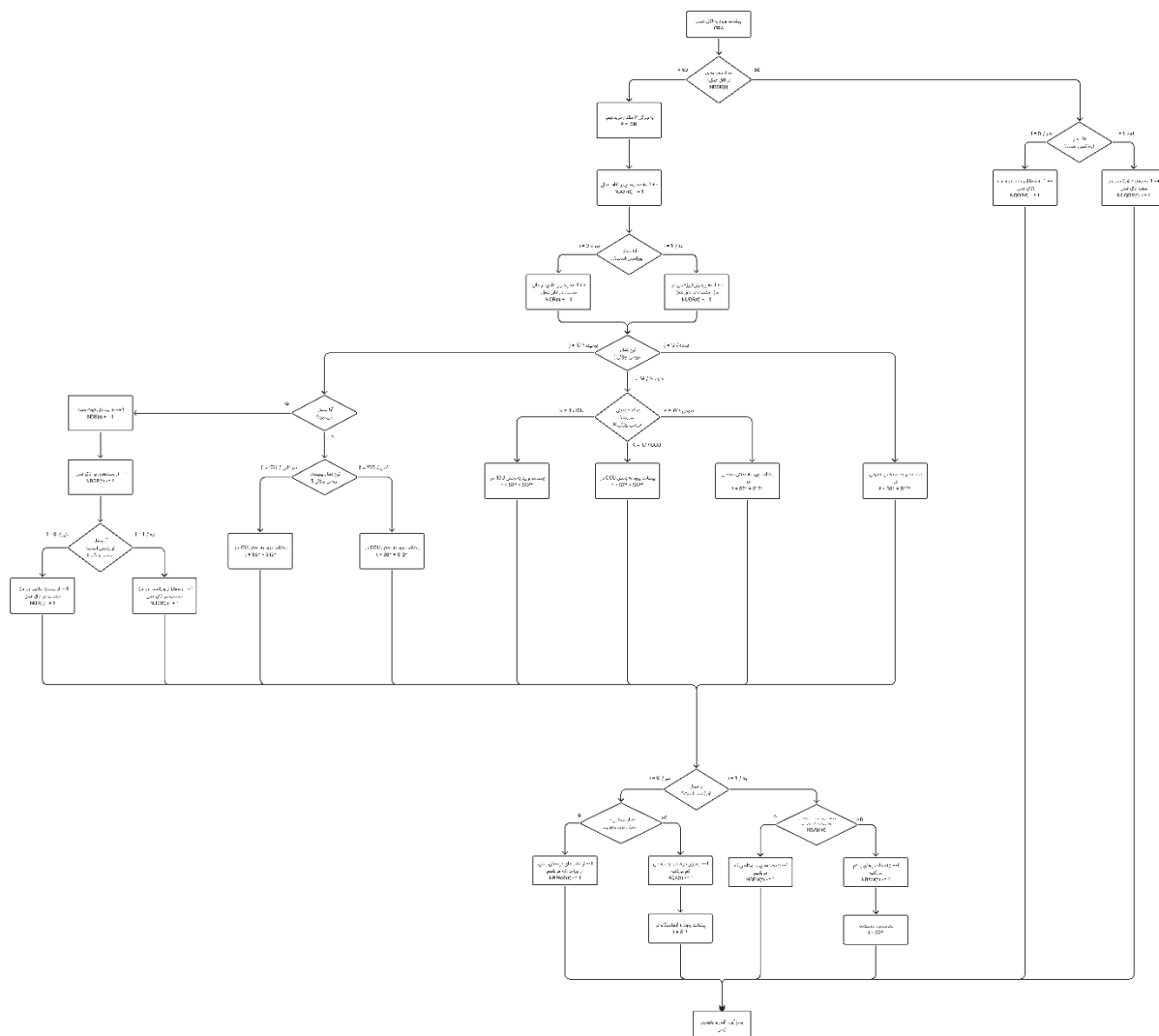
### ۳.۲.۱ پیشامد ورود به بخش آزمایشگاه



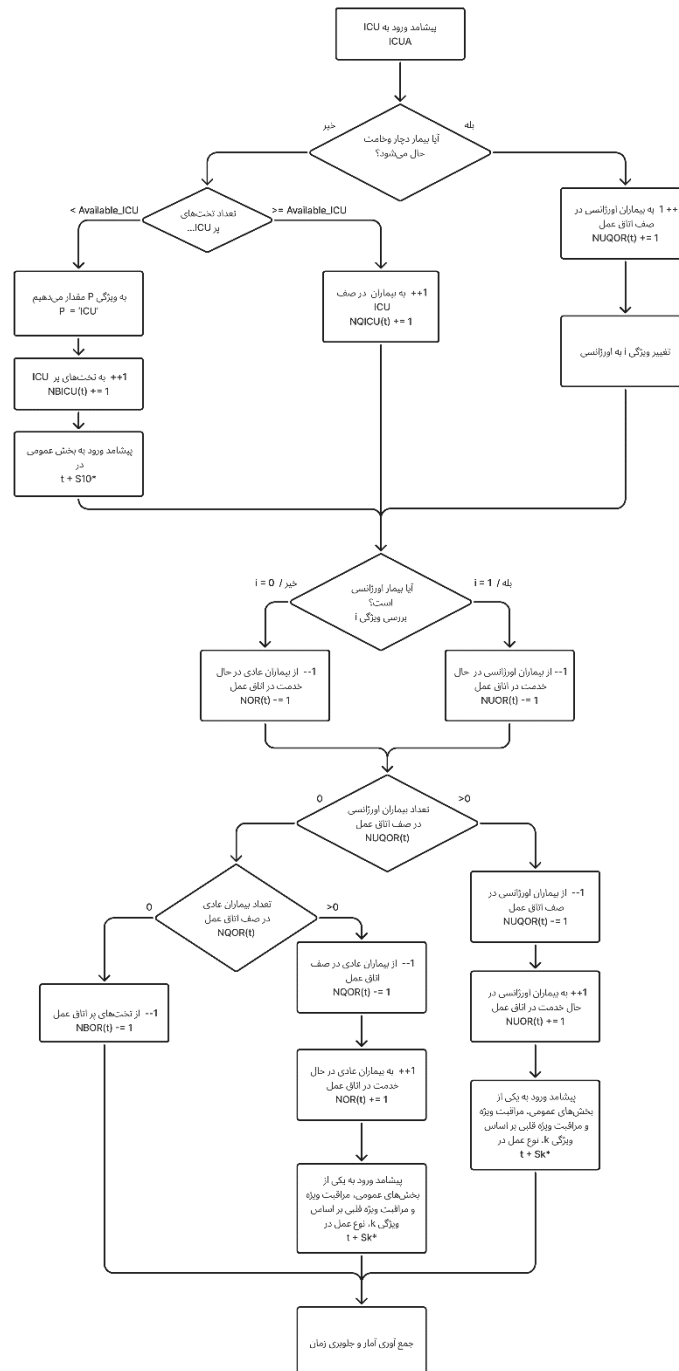
## ۴.۲.۱ پیشامد خروج از بخش آزمایشگاه



### ۵.۲.۱ پیشامد ورود به اتاق عمل

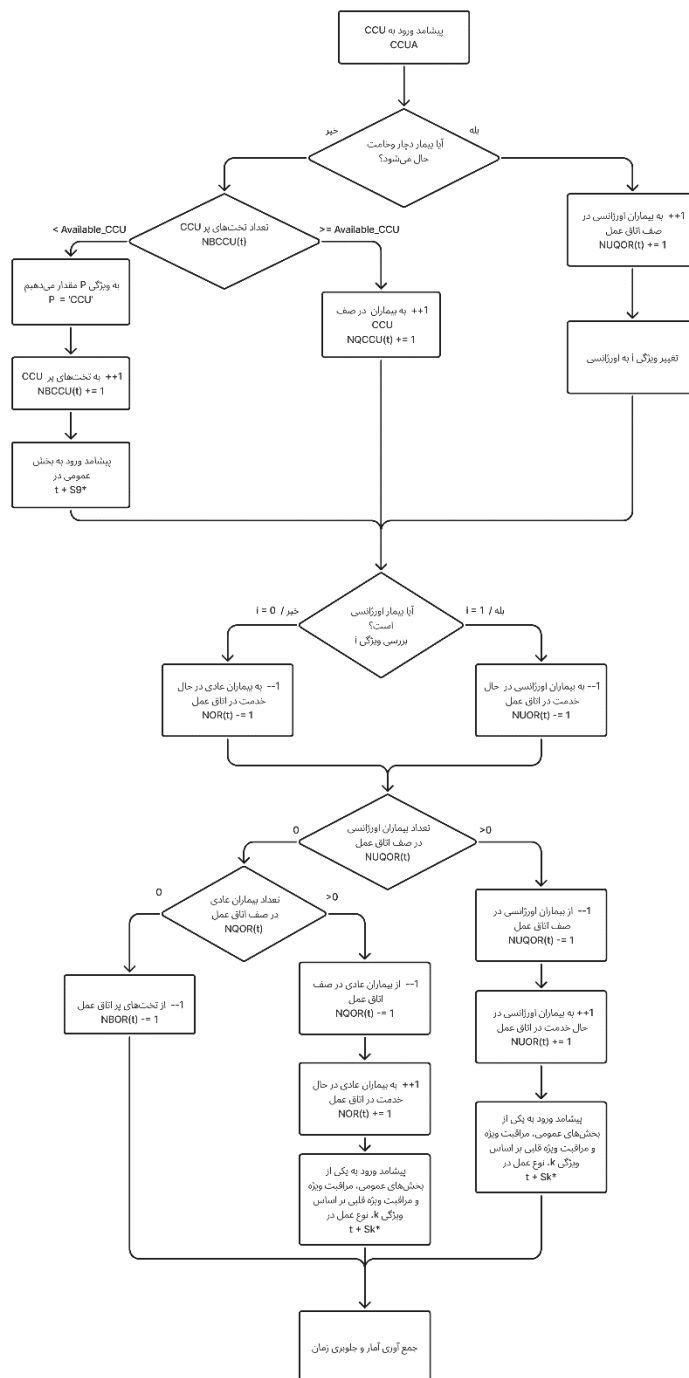


### ۶.۲.۱ پیشامد ورود به بخش مراقبت‌های ویژه

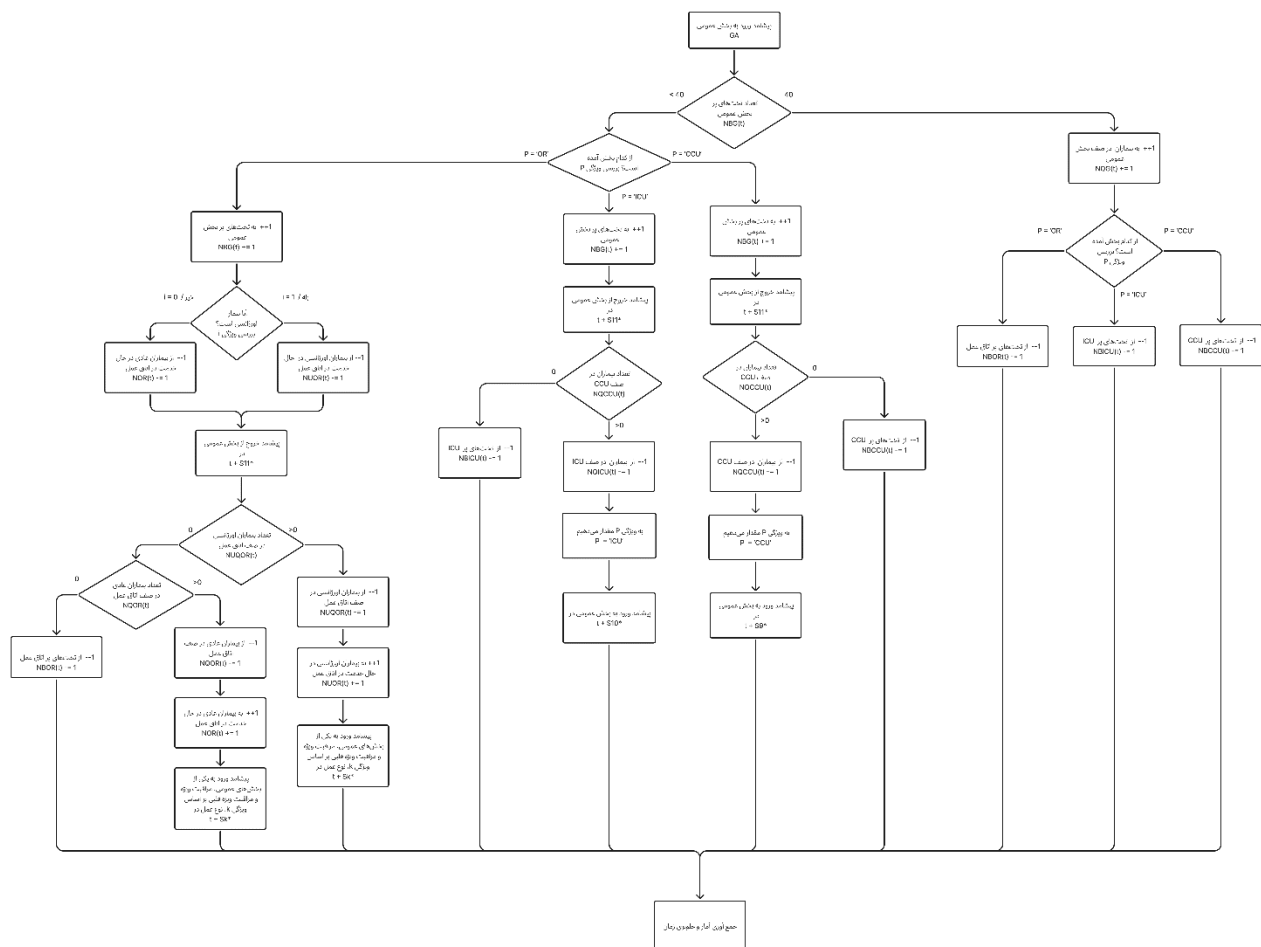




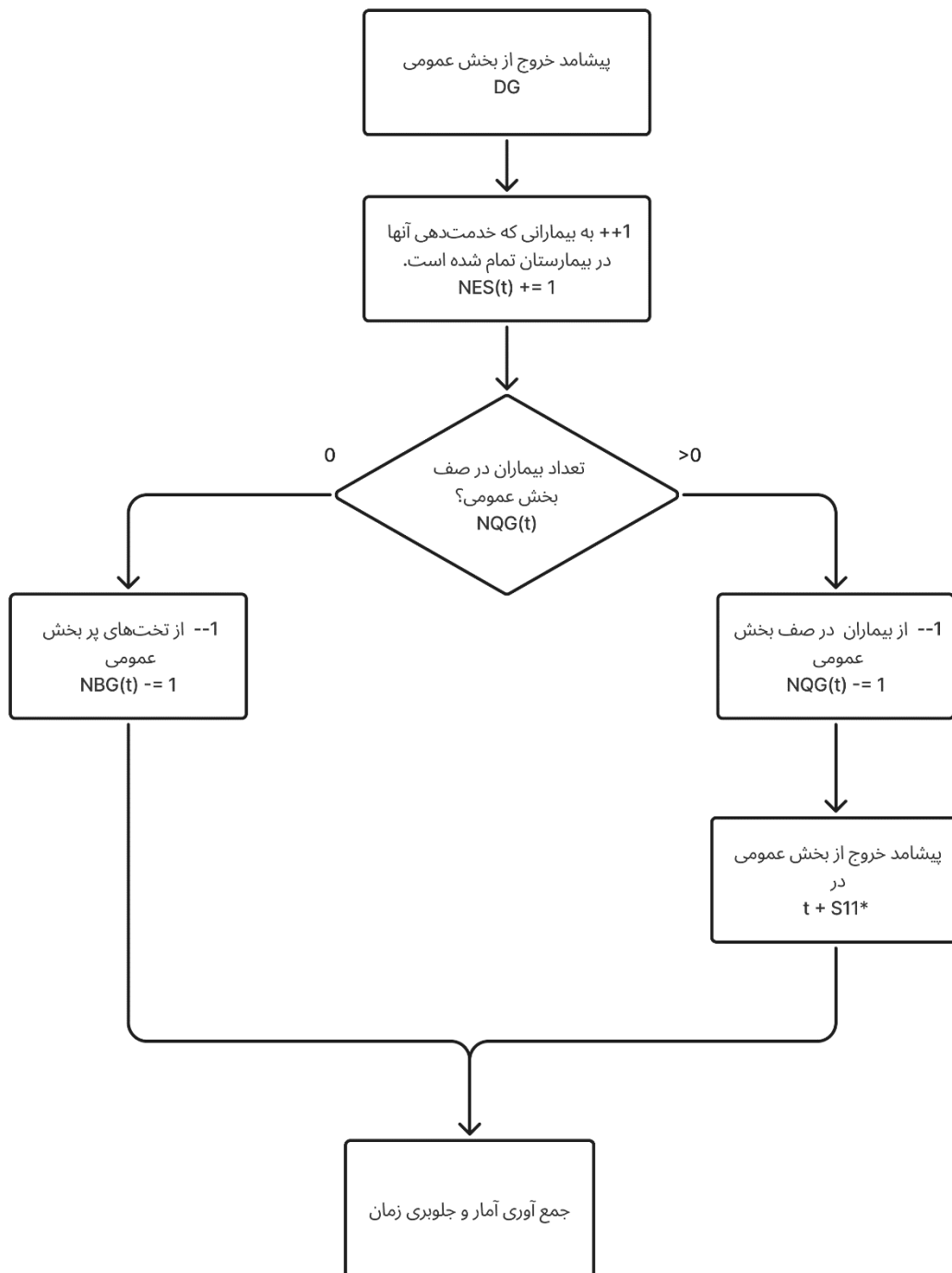
## 15



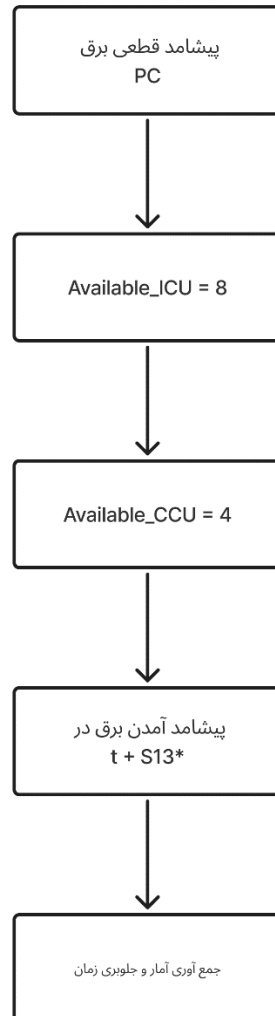
### ۸.۲.۱ پیشامد ورود به بخش عمومی



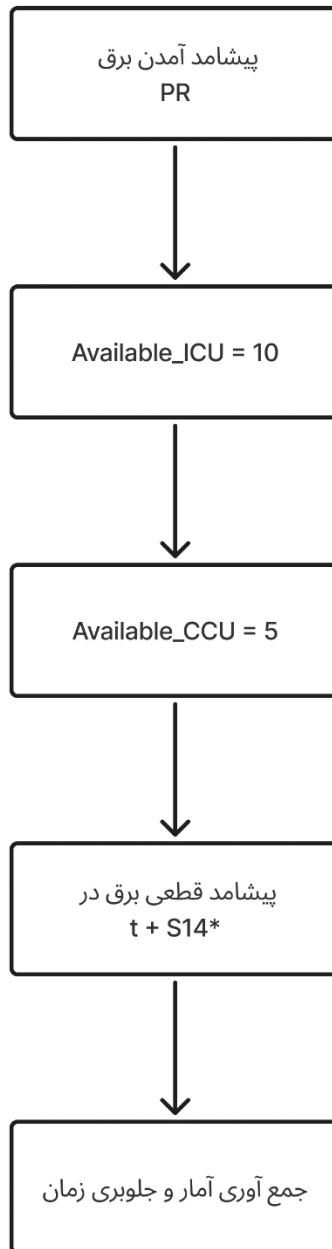
## ۹.۲.۱ پیشامد خروج از بخش عمومی



## ۱۰.۲.۱ پیشامد قطع شدن برق



## ۱۱.۲.۱ پیشامد آمدن برق



## ۲. معیارها

### ۱. بیشینه و متوسط تعداد افراد در صف در بخش‌های مختلف

این معیار یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد سیستم بیمارستانی می‌باشد؛ زیرا بیانگر میزان شلوغی و کارایی بخش‌های مختلف بیمارستان است. متوسط تعداد افراد در صف بیانگر میزان تراکم در بخش‌هایی مانند اورژانس، آزمایشگاه، اتاق عمل، بخش‌های عمومی، بخش پیش از جراحی و بخش مراقبت‌های ویژه قلبی و غیرقلبی می‌باشد. افزایش تعداد افراد موجود در این صف‌ها می‌تواند نشان‌دهنده ناکارآمدی در تخصیص منابع، مدیریت زمان، یا عملکرد کلی بیمارستان باشد. این امر ممکن است منجر به تأخیر در ارائه خدمات، افزایش استرس بیماران و وخامت حال آنها به‌ویژه در موارد اورژانسی شود. کاهش متوسط تعداد افراد در صف، تجربه بهتری برای بیماران فراهم کرده و سطح رضایت آنها را افزایش خواهد داد.

ماکسیمم طول صف بیانگر بیشینه طول صف در بخش‌های مختلف می‌باشد. برای محاسبه‌ی آن ابتدا در هر مرحله تعداد افراد در صف بخش‌های ذکر شده را در یک متغیر ذخیره کردیم و سپس این مقدار را با بیشینه صفی که در هر قسمت در زمان‌های گذشته ایجاد شده بود مقایسه می‌کنیم. اگر این مقدار از طول صفی که در گذشته ایجاد شده بود و آن را ذخیره کرده بودیم بیشتر بود، مقدار بیشینه طول صف آن بخش را به‌روز کرده و این مقدار جدید را جایگزین آن می‌کنیم؛ در غیر این صورت همان مقدار قبلی را نگه می‌داریم.

برای محاسبه شاخص میانگین طول صف ابتدا با ضرب کردن تعداد افراد موجود در صف هر یک از بخش‌های ذکر شده در اختلاف ساعت کنونی و<sup>۱</sup> آخرین زمانی که طول صف بخش ذکر شده تغییر کرده است، مساحت ناحیه زیر منحنی صف بخش مربوطه را محاسبه کرده و هر بار این مقدار بدست آمده را به مقادیر موجود در دیکشنری مربوطه اضافه کردیم. در پایان با تقسیم مقدار نهایی مساحت ناحیه‌ی زیر منحنی مربوط به صف بخش مورد نظر بر زمان شبیه‌سازی این شاخص را محاسبه کردیم.

$$\text{میانگین طول صف} = \frac{\text{مساحت زیر منحنی صف بخش مورد نظر}}{\text{زمان شبیه سازی}}$$

---

<sup>۱</sup>Clock

## ۲. متوسط افرادی که هنگام جراحی فوت می‌شوند

این شاخص یکی از معیارهای کلیدی برای ارزیابی ایمنی و کیفیت خدمات جراحی در بیمارستان می‌باشد. در واقع این شاخص به مدیران بیمارستان و تیم‌های پزشکی این امکان را می‌دهد تا نقاط ضعف سیستم‌های مراقبتی را شناسایی کرده و اقدامات لازم جهت کاهش ریسک مرگ و میر در حین جراحی را انجام دهند. اهمیت این شاخص از چند منظر قابل توجه می‌باشد اول اینکه، نرخ بالای مرگ و میر در جراحی‌ها می‌تواند نشان‌دهنده مشکلاتی در پروتکل‌های ایمنی، کمبود تجهیزات پزشکی مناسب یا نیاز به آموزش بیشتر کادر پزشکی باشد. تحلیل دقیق این شاخص به بهبود فرآیندهای درمانی و افزایش استانداردهای ایمنی کمک شایانی خواهد کرد. دومین مورد اینکه، کاهش نرخ مرگ و میر در حین جراحی باعث افزایش اعتماد بیماران به بیمارستان می‌شود. برای محاسبه این شاخص ابتدا تعداد بیمارانی که در حین جراحی فوت شده اند را ذخیره کرده و سپس این مقدار را بر تعداد کل بیماران خارج شده از بیمارستان پس از اتمام خدماتشان تقسیم کردیم.

$$\text{میانگین تعداد بیماران فوت شده} = \frac{\text{تعداد بیماران فوت در حین جراحی شده}}{\text{تعداد کل بیماران خارج شده از بیمارستان}}$$

## ۳. متوسط افرادی که از دریافت خدمت در بیمارستان محروم شده‌اند

این شاخص نشان دهنده این است که چه تعداد از بیماران به دلیل محدودیت منابع مانند کمبود تخت، تجهیزات یا نیروی انسانی امکان دریافت خدمات مورد نیاز خود محروم شده‌اند. در بیمارستان‌هایی که تقاضا برای خدمات درمانی بالا و ظرفیت محدود است، این شاخص می‌تواند به طور معناداری افزایش پیدا کند. تحلیل این شاخص به درک بهتر از نقاط ضعف در تخصیص منابع بیمارستان و همچنین فرآیندهای پذیرش کمک می‌کند.

## ۴. متوسط تعداد بیماران ضروری که در بخش اتاق عمل خدمت دریافت می‌کنند

این شاخص میزان توانایی بیمارستان در ارائه خدمات فوری و ضروری به بیمارانی را نشان می‌دهد که به دلایل اضطراری نیاز به جراحی دارند. این بیماران به دلیل شرایط ویژه و فوریت درمان، اولویت بالایی در استفاده از

اتاق عمل داشته و معمولاً به محض فراهم شدن شرایط، جراحی می‌شوند. این شاخص به ظرفیت بیمارستان در مدیریت شرایط اضطراری و اختصاص سریع منابع حیاتی نظیر تخت اتاق عمل، تیم جراحی، و تجهیزات اشاره می‌کند.

## ۵. متوسط تعداد بیماران عادی که در آزمایشگاه خدمت دریافت می‌کنند

این شاخص بیانگر میزان بهره‌گیری از خدمات آزمایشگاهی توسط بیمارانی است که با برنامه‌ریزی قبلی برای درمان به بیمارستان مراجعه کرده‌اند. این شاخص میزان استفاده از ظرفیت آزمایشگاه برای این دسته از بیماران را نشان می‌دهد و می‌تواند بر اساس عواملی نظیر تعداد مراجعه‌کنندگان، زمان‌بندی خدمات، و کارایی سیستم آزمایشگاهی متغیر باشد. اهمیت این شاخص در مدیریت صحیح ظرفیت آزمایشگاه و بهبود فرآیندهای درمانی نهفته است. بهره‌وری پایین آزمایشگاه یا اولویت‌بندی نامناسب بیماران می‌تواند منجر به تأخیر در انجام جراحی‌ها و کاهش رضایت بیماران شود. از سوی دیگر، اگر تعداد بیماران عادی که از خدمات آزمایشگاهی بهره‌مند می‌شوند بالا باشد، می‌توان نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی مناسب و تخصیص منابع به‌درستی انجام شده است.

## ۶. متوسط تعداد بیمارانی که در بخش‌های مراقبت‌های ویژه، مراقبت‌های ویژه قلبی و بخش

### عمومی خدمت دریافت می‌کنند

این شاخص نیز معیاری مهم برای سنجش سطح بهره‌برداری از این بخش‌ها و تخصیص مناسب منابع بیمارستانی می‌باشد. اهمیت این شاخص از دو جنبه حیاتی برخوردار می‌باشد. نخست آنکه، افزایش تعداد بیماران در این بخش‌ها می‌تواند نشان‌دهنده فشار کاری بالا و احتمال کاهش کیفیت مراقبت به دلیل کمبود منابع یا نیروی انسانی باشد. در مقابل، مقادیر پایین‌تر ممکن است به معنای استفاده ناکافی از ظرفیت بخش‌ها یا بهبود شرایط بیماران باشد. دوم آنکه، بررسی این شاخص به بیمارستان کمک می‌کند تا با شناسایی نقاط گلوگاهی، مانند کمبود تخت یا نیروی متخصص، و اتخاذ راهکارهای بهینه‌سازی، عملکرد خود را بهبود بخشد.



## ۷. متوسط مدت زمان ماندن در سیستم

این شاخص میانگین مدت زمان ماندن بیماران در بیمارستان را مشخص می‌کند. برای محاسبه‌ی آن زمان ورود بیمار به بخش پیش از جراحی یا اورژانس را ذخیره می‌کنیم و در انتها هنگام خروج از بیمارستان این اختلاف زمانی را به صورت تجمعی محاسبه می‌کنیم. در نهایت با تقسیم مجموع این زمان بر تعداد کل بیمارانی که از بخش عمومی خارج شده‌اند این شاخص را محاسبه می‌کنیم. در قسمت زمان خروج بیماران را از بخش عمومی منهای زمان ورود آن‌ها به بیمارستان می‌کنیم. (ورود آن‌ها می‌تواند اورژانسی یا پیش از جراحی باشد)

$$\text{میانگین مدت زمان ماندن در سیستم} = \frac{\text{مجموع مدت زمان ماندن بیماران در سیستم}}{\text{تعداد بیماران خارج شده}}$$

## ۸. احتمال پر بودن صف اورژانس

این شاخص مشخص می‌کند که با چه احتمالی صف اورژانس یا همان آمبولانس‌ها پر می‌باشند و بیمار اورژانسی پذیرش نمی‌شود. برای محاسبه این شاخص ابتدا با ضرب کردن تعداد آمبولانس‌های پر در، اختلاف ساعت کنونی<sup>۳</sup> و آخرین زمانی که طول صف اورژانس تغییر کرده است، مساحت ناحیه‌ی زیر منحنی مربوط به صف اورژانس را محاسبه می‌کنیم. برای هر بار این مقدار بدست آمده را به مقادیر موجود در دیکشنری مربوطه اضافه کرده و در پایان با تقسیم مقدار نهایی مساحت ناحیه‌ی زیر منحنی بر زمان شبیه‌سازی این شاخص را محاسبه می‌کنیم.

$$\text{احتمال پر بودن ظرفیت صف اورژانس} = \frac{\text{مساحت زیر منحنی صف اورژانس}}{\text{زمان شبیه سازی}}$$

## ۹. میانگین مدت زمان انتظار در صف

این شاخص متوسط مدت زمان انتظار در صف بخش‌های مختلف محاسبه می‌کند. برای محاسبه‌ی این شاخص ابتدا مدت زمان انتظار هر یک از بیماران در هر یک از بخش‌های خواسته شده را با استفاده از اختلاف ساعت کنونی از زمان ورود هر یک از بیماران به بخش مورد نظر بدست آورده و این مقادیر را به صورت تجمعی برای هر بیمار به دیکشنری مربوطه اضافه می‌کنیم. در آخر هم برای محاسبه‌ی این شاخص مقدار نهایی مدت زمان

---

<sup>۳</sup>Clock

انتظار تمام بیماران وارد شده به یک بخش را بر تعداد بیمارانی که خدمت آن‌ها در بخش مربوطه آغاز شده است تقسیم می‌کنیم.

$$\text{میانگین مدت زمان انتظار در صف} = \frac{\text{مدت زمان انتظار بیماران}}{\text{تعداد بیماران خدمت گرفته در هر بخش}}$$

#### ۱۰. متوسط تعداد دفعات عمل مجدد برای بیماران با عمل پیچیده

تعداد دفعاتی که بیماران عمل مجدد کرده‌اند را بر تعداد دفعاتی که عمل جراحی پیچیده صورت گرفته است تقسیم می‌کنیم.

$$\text{متوسط تعداد دفعات عمل مجدد برای بیماران با عمل پیچیده} = \frac{\text{تعداد کل عمل‌های مجدد}}{\text{تعداد کل عمل‌های جراحی پیچیده}}$$

#### ۱۱. میانگین بهره‌وری تخت‌های بخش‌های مختلف

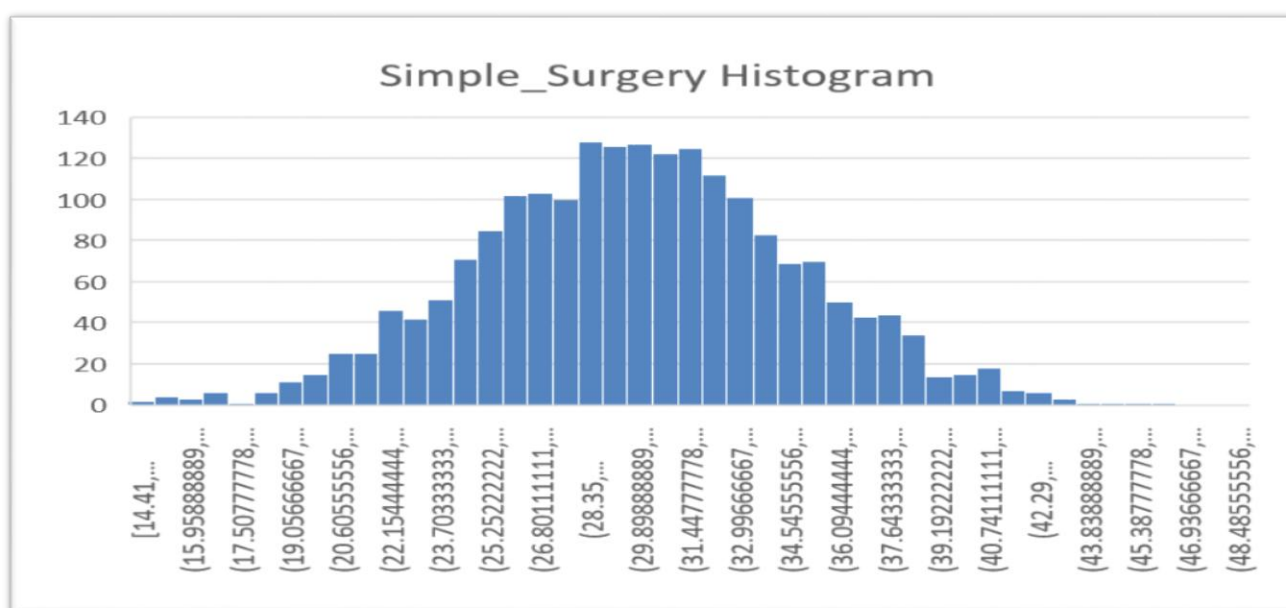
برای محاسبه‌ی این شاخص مدت زمان مشغول بودن تخت‌های هر بخش را محاسبه کرده و در یک دیکشنری این مقدار را به صورت تجمعی ذخیره سازی می‌کنیم. بدین منظور اختلاف زمان شروع خدمت‌دهی در هر بخش و خروج از آن را به صورت تجمعی ذخیره می‌کنیم. در انتها مدت زمان مشغول بودن هر یک از تخت‌های بخش موردنظر را بر زمان شبیه سازی تقسیم می‌کنیم.

$$\text{میانگین بهره‌وری تخت‌های هر بخش از بیمارستان} = \frac{\text{مدت زمان مشغول بودن تخت هر بخش}}{\text{تعداد تخت‌ها} \times \text{زمان شبیه سازی}}$$

### ۳. توزیع‌های زمان خدمت‌دهی در اتاق عمل

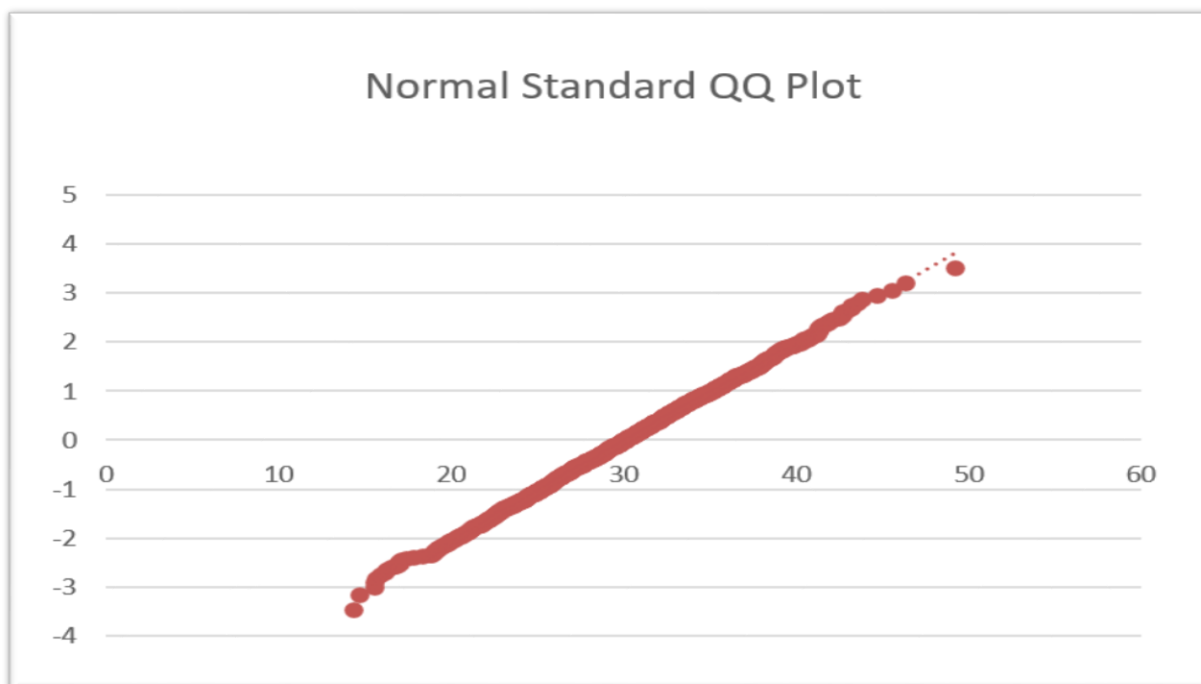
#### ۱,۳ توزیع زمان عمل ساده

در ابتدا هیستوگرام داده‌های جمع‌آوری شده را رسم می‌کنیم. شکل ۳-۱ نمودار هیستوگرام زمان عمل ساده را نشان می‌دهد. تعداد بازه‌ها برای رسم هیستوگرام ۴۵ (با توجه به اینکه نمودارها نه خیلی ضخیم و نه باریک باشند) در نظر گرفته شده است. به صورت شهودی نمودار مربوطه، رفتاری شبیه به توزیع نرمال<sup>۱</sup> دارد. بدین منظور و برای حصول اطمینان بیشتر، نمودار q-q داده‌ها نیز در شکل‌های ۳-۲ و ۳-۳ مشهود است.

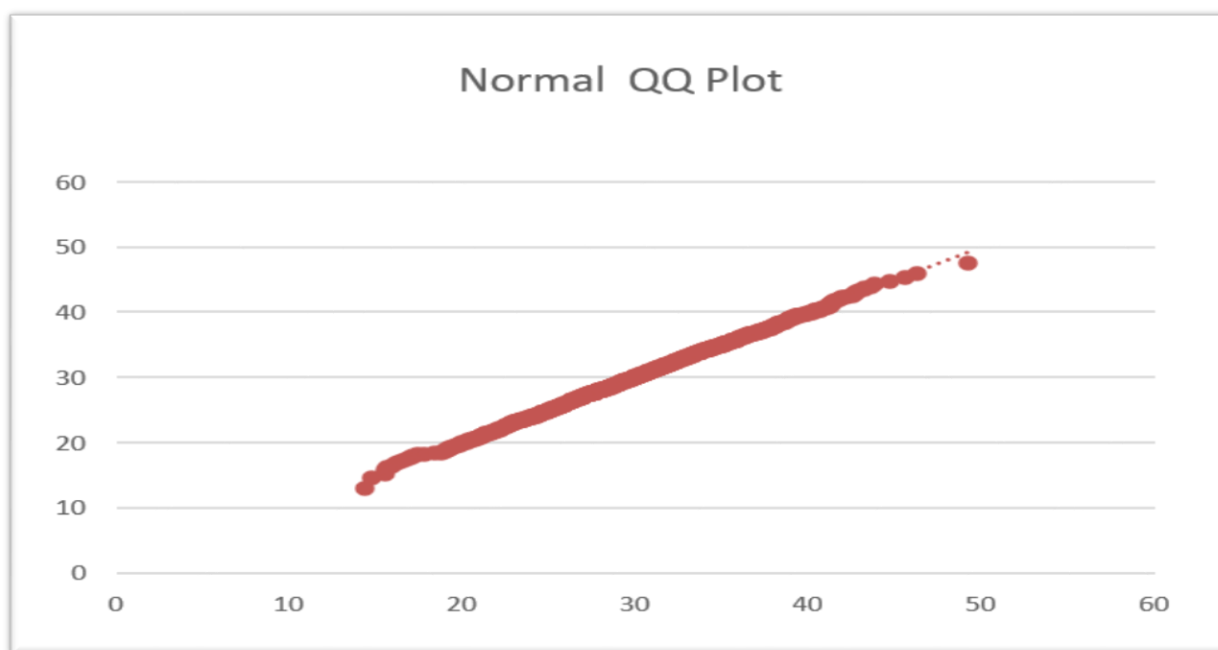


شکل ۳-۱ نمودار هیستوگرام با ۴۵ بازه

<sup>۱</sup>Histogram  
<sup>۲</sup>Normal Distribution



شکل ۲-۳ نمودار q-q داده‌های عمل ساده



شکل ۳-۳ نمودار q-q داده‌های عمل ساده

شکل‌های ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳ به خوبی نشان می‌دهند که داده‌های جمع‌آوری شده از توزیع نرمال با میانگین ۳۰,۲۲ دقیقه و انحراف معیار ۴,۹۵۸۸۸۷ برخوردار است. لازم به ذکر است که پارامترها با روش برآوردگر حداکثر درست‌نمایی<sup>۶</sup> به دست آمده‌اند. در مرحله آخر این ادعا را به کمک آزمون فراوانی مربع کای<sup>۷</sup> مورد بررسی قرار می‌دهیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق است :  $H_0$

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق نیست :  $H_1$

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \quad \text{آماره}$$

منظور از  $E_i$ ، تعداد مشاهدات قابل انتظار در بازه  $i$  و  $O_i$  تعداد مشاهدات در بازه  $i$  است. مقدار آماره برابر ۲۸,۴۴ به دست می‌آید. مقدار بحرانی  $(\chi^2_{\alpha, K-S-1})$  که در آن  $K$  تعداد بازه‌ها،  $S$  تعداد پارامترهای توزیع و  $\alpha$  سطح معناداری ۵ درصدی می‌باشد. بدین ترتیب مقدار بحرانی با درجه آزادی ۴۲ برابر ۵۸,۱۲ می‌باشد. با توجه به مقدار آماره و مقدار بحرانی، شواهد کافی برای رد فرض صفر، تطابق داده‌ها بر توزیع نرمال وجود ندارد.

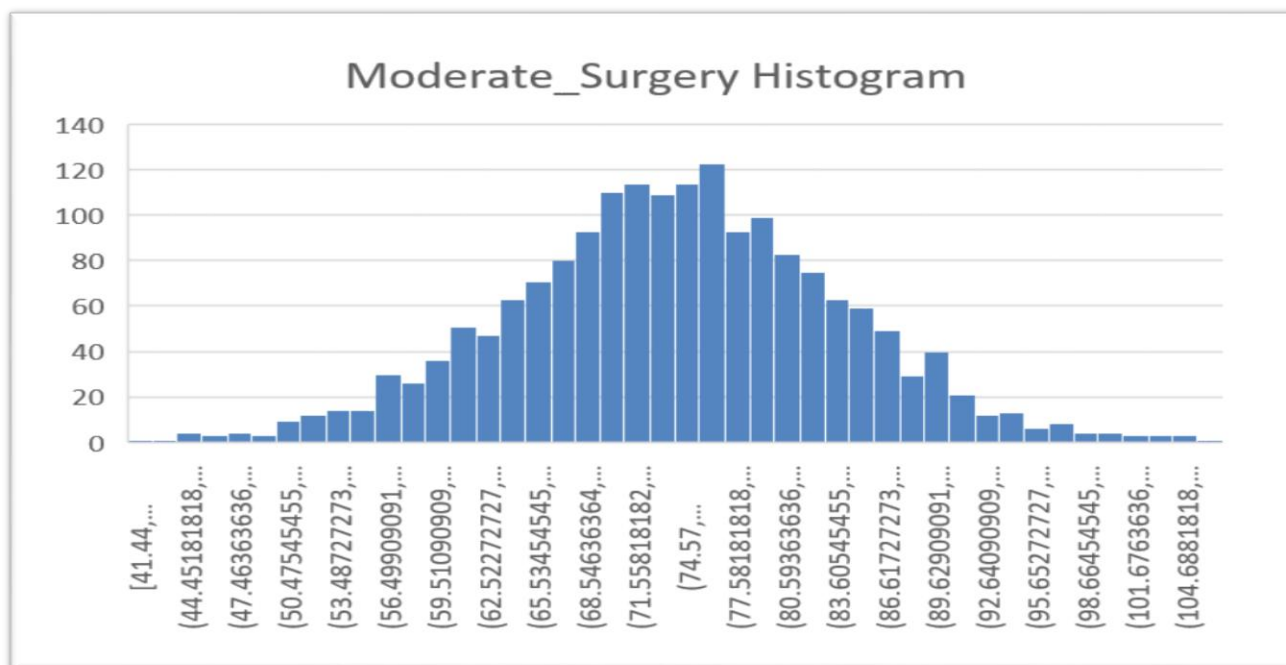
$$X_1 \sim N(30/22, 5/958887)$$

## ۲,۳ توزیع زمان عمل متوسط

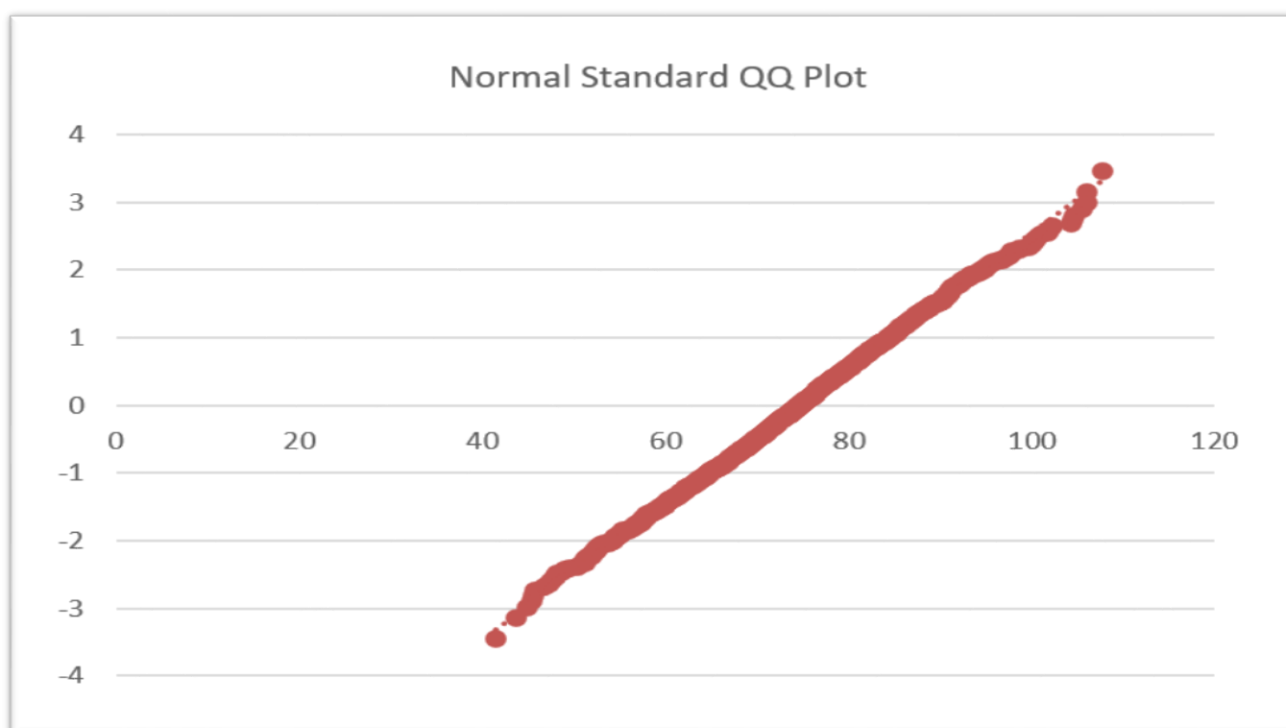
برای داده‌های این بخش هم ابتدا نمودارهیستوگرام داده‌های جمع‌آوری شده را رسم می‌کنیم. شکل ۳-۴ نمودار هیستوگرام زمان عمل متوسط را نشان می‌دهد. تعداد بازه‌ها برای رسم این هیستوگرام ۴۴ در نظر گرفته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، داده‌های مربوط به این بخش نیز رفتاری شبیه به توزیع نرمال دارند. در این بخش نیز برای حصول اطمینان بیشتر، نمودار  $q-q$  داده‌ها را رسم می‌کنیم که در شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶ قابل مشاهده می‌باشد.

<sup>۶</sup>Maximum likelihood estimation

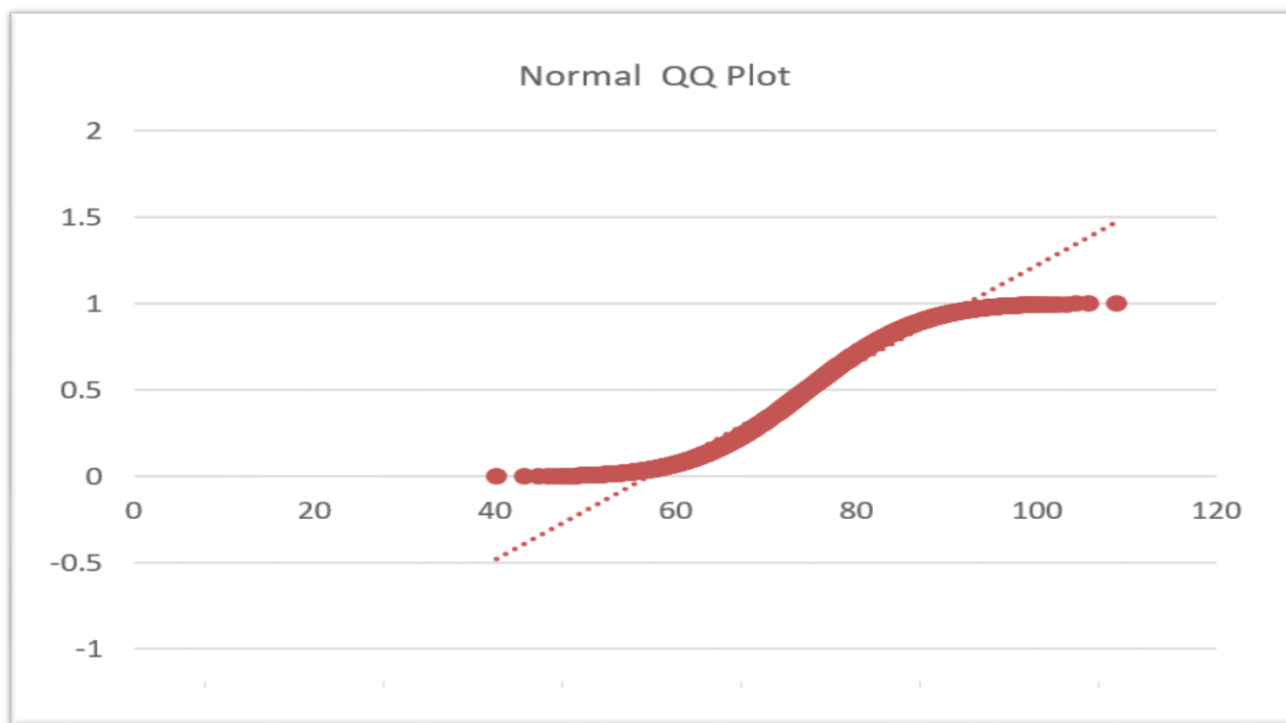
<sup>۷</sup>Chi-Square Test



شکل ۴-۳ نمودار هیستوگرام با ۴۴ بازه



شکل ۵-۳ نمودار q-q داده‌های عمل متوسط



شکل ۳-۶ نمودار q-q داده‌های عمل متوسط

همانطور که از تصاویر بالا قابل مشاهده است، داده‌های جمع‌آوری شده از توزیع نرمال با میانگین ۷۴,۵۴ دقیقه و انحراف معیار ۹,۹۵۳۲۲۲ برخوردار می‌باشد. حال در مرحله آخر، مانند قسمت قبل این ادعا را با استفاده از آزمون فراوانی مربع کای، مانند بخش توزیع عمل ساده با تعریف همان آماره و فرض‌ها مورد بررسی قرار می‌دهیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق است :  $H_0$

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق نیست :  $H_1$

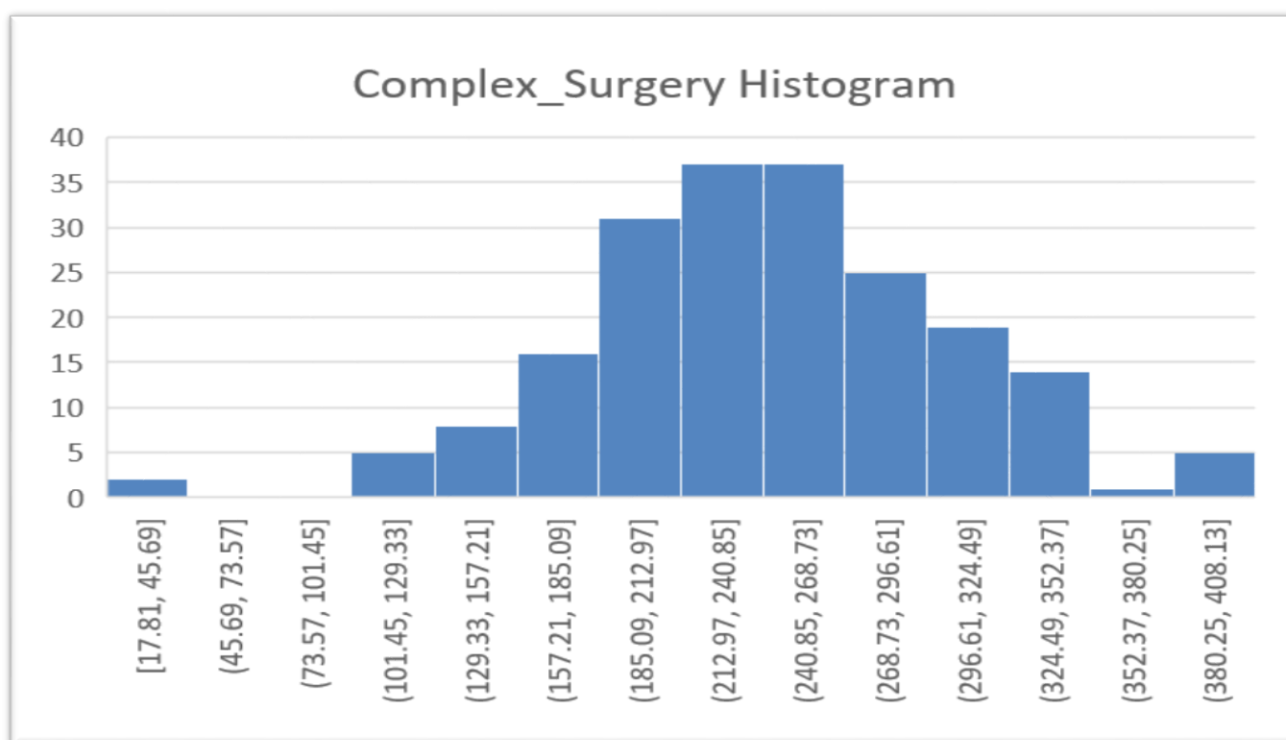
$$\chi^2 = \sum_i \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \quad \text{آماره}$$

پس از انجام محاسبات، مقدار بحرانی با درجه آزادی ۴۱ برابر با ۵۶,۹۴ می‌باشد. حال با توجه به مقادیر بدست آمده برای مقدار آماره و مقدار بحرانی، دلایل کافی برای رد فرض صفر، تطابق داده‌ها بر توزیع نرمال وجود ندارد.

$$X_2 \sim N(75/54, 9/953222)$$

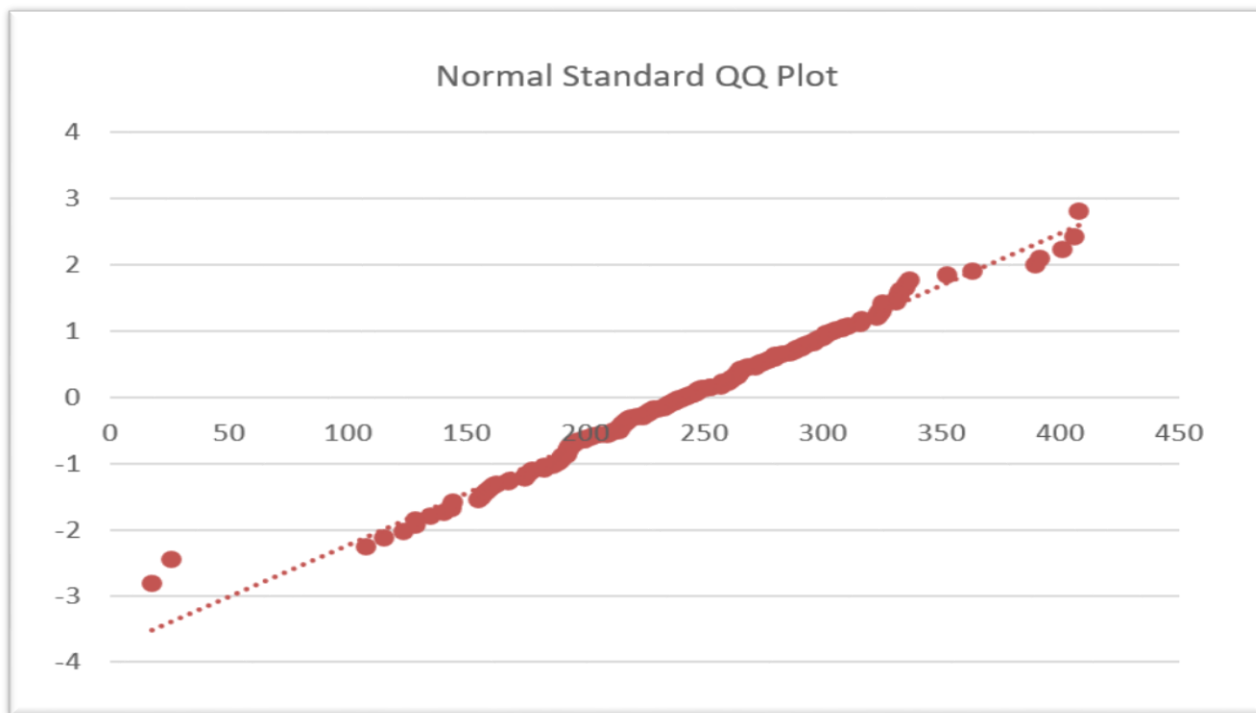
### ۳,۳ توزیع زمان عمل پیچیده

در این قسمت نیز همانطور که در شکل ۳-۷ مشخص است ابتدا نمودار هیستوگرام داده‌های جمع‌آوری شده را رسم می‌کنیم. لازم به ذکر است که تعداد بازه‌ها برای رسم این هیستوگرام ۱۴ در نظر گرفته شده است. همانطور که از هیستوگرام رسم شده مشخص است، داده‌های این بخش نیز مانند داده‌های دو قسمت قبلی رفتاری شبیه به توزیع نرمال دارند. در ادامه نیز برای حصول اطمینان بیشتر نمودارهای q-q داده‌ها را رسم کردیم که در شکل‌های ۳-۸ و ۳-۹ قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۳-۷ نمودار هیستوگرام با ۱۴ بازه





شکل ۳-۸ نمودار q-q داده‌های عمل پیچیده



شکل ۳-۹ نمودار q-q داده‌های عمل پیچیده

با توجه به تصاویر بالا به صورت شهودی به این نتیجه می‌رسیم که داده‌های جمع‌آوری شده برای این نوع جراحی نیز از توزیع نرمال با میانگین ۲۴۲,۰۳۱ دقیقه و انحراف معیار ۶۳,۲۷۴۵۶ برخوردار می‌باشند. در پایان این بخش نیز همانند دو بخش قبلی با استفاده از آزمون فراوانی مربع کای، با تعریف آماره مربوطه و فرض‌های  $H_0$  و  $H_1$  (مانند بخش توزیع عمل ساده) به بررسی ادعای نرمال بودن داده‌های این بخش می‌پردازیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق است :  $H_0$

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای ذکر شده منطبق نیست :  $H_1$

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \quad \text{آماره}$$

پس از انجام محاسبات در اکسل، مقدار بحرانی با درجه آزادی ۱۱ برابر با ۱۹,۶۷ می‌باشد. حال با توجه به مقادیر بدست آمده برای مقدار آماره و مقدار بحرانی، مشاهده می‌کنیم که دلایل کافی برای رد فرض صفر، تطابق داده‌ها بر توزیع نرمال وجود ندارد.

$$X_3 \sim N(242.031, 63.27456)$$

باید توجه داشت که برخلاف اینکه بازه توزیع نرمال از مثبت تا منفی بی‌نهایت می‌باشد، سه توزیع بالا که مدت زمان انجام عمل‌های مختلف می‌باشند از نرمال پیروی می‌کنند. این بدین معنا است که احتمال انتخاب اعداد منفی در این سه توزیع بسیار پایین است و هیچ‌گاه منفی نمی‌شوند.

لازم به ذکر است که تمام محاسبات انجام شده و نمودارهای رسم شده در اکسل صورت گرفته است که فایل مربوطه پیوست شده است.

## ۴. پیاده سازی

پیاده سازی این شبیه سازی با استفاده از زبان پایتون<sup>۱۸</sup> و در محیط پایچارم<sup>۱۹</sup> توسعه داده شده است. نتایج خروجی نیز با استفاده از سیستمی با پردازنده Core i۷ و با رم ۱۶ گیگابایت انجام شده است. فایل کد توسعه داده شده در گیت هاب به زودی قرار داده می شود.

## ۵. صحت سنجی و اعتبارسنجی

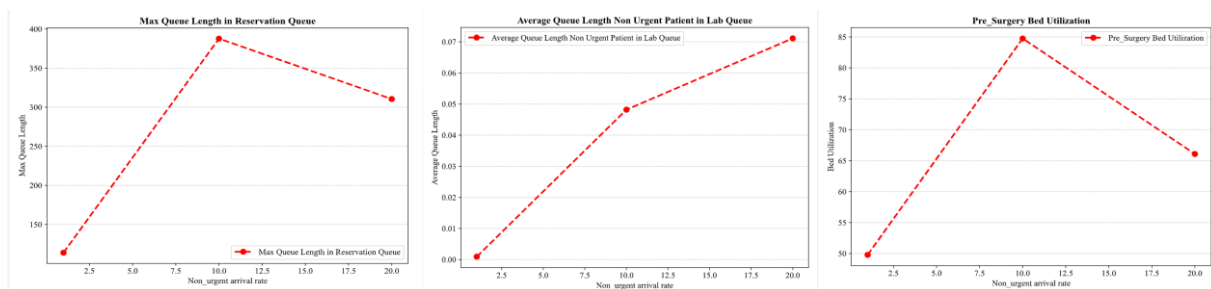
### ۱,۵ ردیابی<sup>۲۰</sup>

در برنامه شبیه سازی این امکان قرارداد داده شده است که با فراخوانی تابع بخصوصی، فایل اکسلی ایجاد خواهد شد که در این فایل هر پیشامد شبیه سازی، متغیرهای حالت سیستم و فهرست پیشامدهای آتی در طول افق زمانی شبیه سازی به ترتیب زمان وقوع قرار داده میشود. با دنبال کردن چند کاربر به صورت انفرادی در بخش های مختلف سیستم و بررسی متغیرهای حالت، میتوان از صحت صوری مدل اطمینان حاصل کرد.

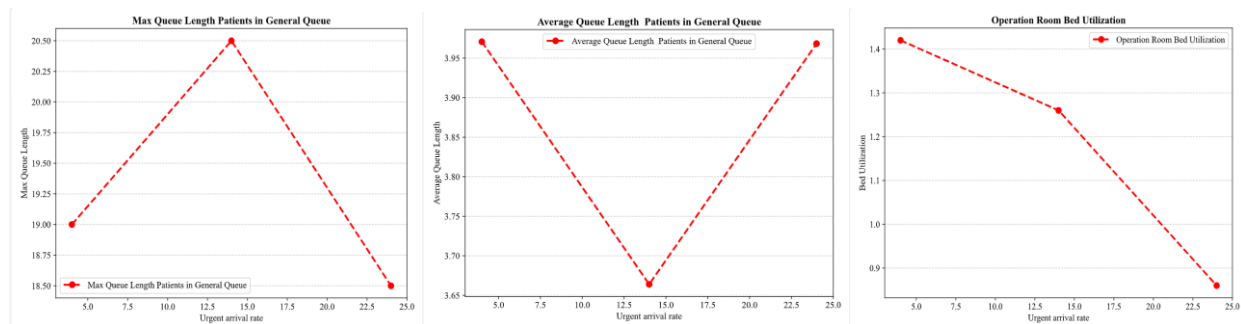
---

<sup>۱۸</sup>Python  
<sup>۱۹</sup>PyCharm  
<sup>۲۰</sup>Trace

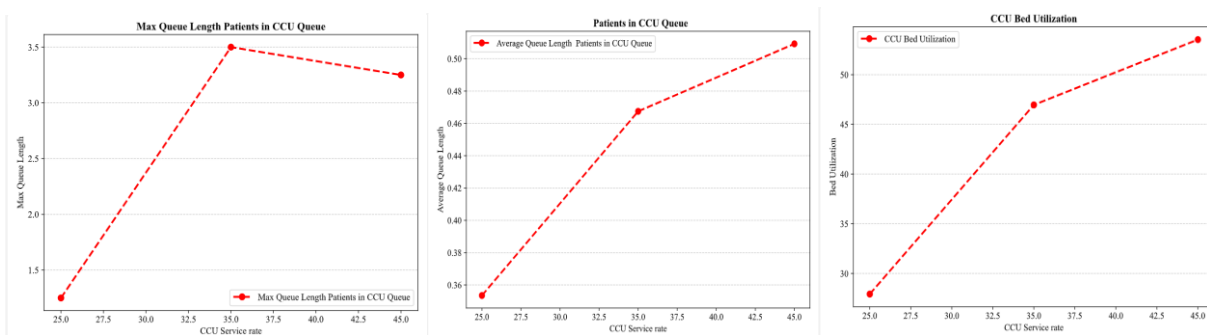
## ۲,۵ تحلیل حساسیت



شکل ۵-۱ نمودار تحلیل حساسیت زمان ورود بیمار عادی



شکل ۵-۲ نمودار تحلیل حساسیت زمان ورود بیمار اورژانسی



شکل ۵-۳ نمودار تحلیل حساسیت زمان خدمت دهی در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی

در نمودار ۱-۵ تاثیر تغییر نرخ ورود بیماران عادی بر سه شاخص کلیدی مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهند که با افزایش نرخ ورود بیماران عادی، میزان استفاده از تخت‌های بخش پیش از جراحی به طور محسوسی افزایش می‌یابد که این افزایش می‌تواند باعث افزایش زمان انتظار و همچنین تعداد بیماران در صف بخش پیش از جراحی شود. لازم به ذکر است که نوسان موجود در نمودار می‌تواند به دلیل ماهیت تصادفی بودن اعداد تولید شده باشد. پس از آن مشاهده می‌کنیم که با افزایش نرخ ورود بیماران عادی، میانگین طول صف در بخش آزمایشگاه نیز افزایش پیدا کرده است که باعث می‌شود بیماران مدت زمان بیشتری را در صف آزمایشگاه منتظر بمانند تا نوبت آن‌ها شود. در نهایت با افزایش نرخ ورود بیماران عادی، مشاهده می‌کنیم که حداکثر طول صف در بخش پیش از جراحی نیز افزایش پیدا می‌کند که این امر نیز طبیعی می‌باشد. زیرا به علت شرایطی که بیماران بستری شده در این بخش دارند از جمله مدت زمان بستری شدن آن‌ها تا دریافت خدمت جراحی (دو روز) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نرخ ورود بیماران عادی حداکثر طول صف این بخش افزایش قابل توجهی داشته باشد.

در نمودار ۲-۵ مشاهده می‌کنیم با افزایش نرخ ورود بیماران اورژانسی در ابتدا بیشینه طول صف بخش عمومی افزایش می‌یابد این افزایش به این دلیل می‌باشد که بیماران اورژانسی پس از انجام عمل جراحی خود به بخش‌های مربوطه فرستاده می‌شوند که در نهایت تمامی آن‌ها باید وارد بخش عمومی شوند که با افزایش بیماران اورژانسی تقاضا برای تخت‌های بخش عمومی افزایش پیدا می‌کند که منجر به افزایش طول صف در این بخش می‌شود. در نمودار مربوط به این بخش نوسان زیادی مشاهده می‌شود که این موضوع می‌تواند به خاطر پایدار نبودن نتایج و یا عدم پذیرش بیماران اورژانسی در زمانی که مراجعه می‌کنند، به علت محدودیت ظرفیت در این بخش باشد. اما به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بیشینه طول صف افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌کنیم افزایش نرخ ورود بیماران اورژانسی به دلایلی که برای بیشینه طول صف ایجاد شده در بخش عمومی ذکر شد، باعث افزایش میانگین طول صف در این بخش نیز می‌شود. این امر باعث افزایش زمان انتظار در صف بخش عمومی می‌شود. در نهایت مشاهده می‌کنیم که با افزایش نرخ ورود بیماران اورژانسی میزان استفاده و بهره‌وری تخت‌های اتاق عمل کاهش یافته است. علت این اتفاق را بر آن میتوان دانست که تعداد کمی از تخت‌های اتاق عمل همزمان مشغول هستند و بهره‌وری کل بخش اتاق عمل در این صورت کاهش می‌یابد.

در نمودار ۳-۵ مشاهده می‌کنیم که با افزایش زمان خدمت دهی در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی، طول صف بخش مراقبت‌های ویژه قلبی افزایش پیدا می‌کند. با افزایش مدت زمان ماندن در مراقبت‌های ویژه قلبی، بیماران

زمان طولانی‌تری را در این بخش بستری بوده و این امر موجب افزایش طول صف این بخش می‌شود. از طرفی میزان بهره‌وری تخت‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا بیماران مدت زمان بیشتری را در این قسمت از بیمارستان سپری کرده و تخت‌های این بخش برای مدت زمان طولانی‌تری را همزمان اشغال هستند.

## ۶. نتایج عددی شبیه‌سازی

شایان ذکر است که تمام برآوردهای بازه اطمینان گزارش شده در این بخش با در نظر گرفتن ۵٪ به عنوان سطح معناداری در نظر گرفته شده اند؛ به عبارت دیگر تمام برآوردهای بازه اطمینان ۹۵٪ هستند. بازه اطمینان با ۱۵ دوباره سازی مستقل (با هسته مختلف) انجام شده است.

شاخص	برآورد نقطه‌ای	برآورد بازه اطمینان
متوسط مدت زمان ماندن در سیستم	159.275	[143.048, 175.502]
متوسط تعداد عمل مجدد	0.0509	[0.001, 0.1]
متوسط تعداد بیماران فوت شده	0.003	[0.001, 0.005]
احتمال پر بودن اورژانس	0	[0, 0]
حداکثر طول صف در اورژانس	0	[0, 0]
حداکثر طول صف در بخش پیش از جراحی	184.866	[123.393, 246.339]
حداکثر طول صف بیماران غیر اورژانسی در آزمایشگاه	1.266	[0.876, 1.656]
حداکثر طول صف بیماران اورژانسی در آزمایشگاه	1.733	[1.29, 2.175]
حداکثر طول صف بیماران اورژانسی در اتاق عمل	0	[0, 0]
حداکثر طول صف بیماران غیر اورژانسی در اتاق عمل	0	[0, 0]
حداکثر طول صف CCU	1.733	[0.469, 2.997]
حداکثر طول صف ICU	0	[0, 0]
حداکثر طول صف بخش عمومی	18.933	[10.942, 26.924]
متوسط طول صف اورژانس	0	[0, 0]
متوسط طول صف پیش از جراحی	84.737	[49.527, 119.946]
متوسط طول صف بیماران غیر اورژانسی در آزمایشگاه	0.001	[0.0005, 0.0017]
متوسط طول صف بیماران اورژانسی در آزمایشگاه	0.0017	[0.001, 0.002]

<sup>۲</sup>Seed

[0, 0]	0	متوسط طول صف بیماران اورژانسی در اتاق عمل	
[0, 0]	0	متوسط طول صف بیماران غیر اورژانسی در اتاق عمل	
[0, 0.942]	0.469	متوسط طول صف بیماران CCU	
[0, 0]	0	متوسط طول صف بیماران ICU	
[0.775, 7.089]	3.932	متوسط طول صف بیماران بخش عمومی	
[0, 0]	0	متوسط زمان انتظار در صف اورژانس	متوسط زمان انتظار در صف
[1018.77, 2110.55]	1564.66	متوسط زمان انتظار در صف پیش از جراحی	
[0.0026, 0.01]	0.0066	متوسط زمان انتظار در صف آزمایشگاه	
[0, 0]	0	متوسط زمان انتظار در صف اتاق عمل	
[0, 7.453]	3.422	متوسط زمان انتظار در صف CCU	
[0, 0]	0	متوسط زمان انتظار در صف ICU	
[0, 39.511]	18.434	متوسط زمان انتظار در صف بخش عمومی	
[0.02, 0.04]	0.032	نرخ بهره‌وری تخت اورژانس	نرخ بهره‌وری
[0.56, 0.9]	0.73	نرخ بهره‌وری تخت پیش از جراحی	
[0.07, 0.12]	0.097	نرخ بهره‌وری تخت آزمایشگاه	
[0.07, 0.01]	0.01	نرخ بهره‌وری تخت اتاق عمل	
[0.07, 0.12]	0.101	نرخ بهره‌وری تخت ICU	
[0.22, 0.38]	0.3	نرخ بهره‌وری تخت CCU	
[0.47, 0.75]	0.61	نرخ بهره‌وری تخت عمومی	

شکل ۶-۱ برآورد نقطه‌ای و بازه اطمینان برای معیارهای ارزیابی عملکرد

بهره‌وری تخت‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان تفاوت قابل توجهی دارد و نقاط ضعف و قوت متعددی را آشکار می‌کند. در بخش اورژانس، نرخ بهره‌وری ۳,۲٪ می‌باشد احتمالاً ناشی از ضرورت خالی نگه داشتن تخت‌ها برای شرایط اضطراری و یا احتمال پایین ورود بیماران اورژانسی نسبت به بیماران عادی در بیمارستان می‌باشد. بخش پیش از جراحی با نرخ بهره‌وری ۷۳٪ عملکرد بالایی دارد، زیرا محدودیت صف در این بخش نداریم و همچنین بیماران این بخش پس از انجام آزمایشات خود باید به مدت دو روز بستری بمانند که این موضوع به همراه سایر عوامل باعث افزایش استفاده از تخت‌های این بخش توسط بیماران می‌شوند. از سوی دیگر، بخش آزمایشگاه و اتاق عمل به ترتیب با نرخ بهره‌وری ۹,۷٪ و ۱٪ بسیار پایین عمل کرده‌اند، که می‌تواند به دلیل مشکلاتی مانند مدیریت نامناسب و زیاد بودن منابع و همچنین نداشتن صف طولانی در این بخش‌ها دانست.

بخش‌های مراقبت ویژه و ویژه قلبی با نرخ بهره‌وری ۱۰,۱٪ و ۳۰٪ و با توجه به اینکه تنها بیماران با جراحی‌های پیچیده و متوسط به این بخش‌ها مراجعه می‌کنند عملکرد نسبتاً خوبی دارند. در نهایت، بخش عمومی با نرخ بهره‌وری ۶۱٪، مانند بخش پیش از جراحی از نرخ بهره‌وری بالایی برخوردار می‌باشد زیرا در این بخش نیز بیماران از بخش‌های مختلف بیمارستان مراجعه کرده و باعث استفاده بیشتر از تخت‌های این بخش می‌شود. در مجموع، این اعداد نشان می‌دهند که بهره‌وری کلی بیمارستان در برخی بخش‌ها پایین است و می‌توان با مدیریت بهتر منابع و بهبود فرآیندهای برنامه‌ریزی، نرخ بهره‌وری را به شکل قابل توجهی افزایش داد.

حال به تحلیل مدت زمان انتظار در صف‌های بخش‌های مختلف می‌پردازیم. با توجه به نتایج بدست آمده، بخش‌هایی مانند اورژانس، آزمایشگاه، اتاق عمل و مراقبت‌های ویژه به وضوح کارایی بالاتری را نشان می‌دهند. برای مثال، در صف اورژانس، مقدار زمان انتظار برابر با صفر ساعت است، که این موضوع به این معنی است که هیچ‌گونه زمان تأخیری در این بخش وجود نداشته و بیماران بلافاصله به خدمات درمانی دسترسی خواهند داشت و در بخش اورژانس بستری می‌شوند. این مورد نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب و ظرفیت مناسب اورژانس بوده که قادر به پاسخگویی سریع به بیماران می‌باشد. همچنین، صف آزمایشگاه با زمان انتظار میانگین ۰,۰۶۶ ساعت و صف اتاق عمل با میانگین زمان انتظار ۰ ساعت، نشان‌دهنده پاسخ‌دهی سریع به نیازهای بیماران در این بخش‌ها می‌باشد. اما در مقابل، صف بخش پیش از جراحی زمان انتظار قابل توجهی دارد. در صف پیش از جراحی، با زمان انتظار میانگین ۱۵۶۴,۶۶ ساعت به وضوح مشخص است که بیمارستان در این بخش با فشار بالایی روبه‌رو می‌باشد. لازم به ذکر است که صف این بخش محدودیتی ندارد و برای همین زمان ماندن در صف طولانی می‌شود. این زمان طولانی می‌تواند ناشی از محدودیت در ظرفیت باشد و نیازمند بازنگری در شیوه‌های مدیریت و تخصیص منابع است. همچنین زمان انتظار در بخش‌های مراقبت‌های ویژه و مراقبت‌های ویژه قلبی نیز به ترتیب ۰ و ۳,۴۲۲ ساعت می‌باشد که بیانگر وجود صف در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی می‌باشد که این موضوع می‌تواند به دلیل ظرفیت کم این بخش باشد. در مجموع، به‌طور کلی، بخش‌هایی که زمان انتظار به نسبت کمی دارند به‌خوبی عمل کرده‌اند؛ اما در صف‌های با زمان انتظار بلندتر نیاز به بهبود فرآیندها و تخصیص بهتر منابع وجود دارد.

حال به بررسی متوسط طول صف می‌پردازیم. در بخش‌هایی مانند اورژانس، طول صف ناچیز بوده و مقدار صفر می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که بیماران منتظر در صف اورژانس نخواهیم داشت، که به کارایی بالای این بخش و توانایی در ارائه خدمات فوری اشاره دارد. همچنین، در بخش مراقبت‌های ویژه، نیز همین شرایط برقرار



بوده و طول صف صفر می باشد، که نشان دهنده عدم وجود صف است. این بیانگر اولویت دهی و مدیریت مناسب در این بخش حساس است. در مقابل بخش های پیش از جراحی و بخش عمومی طول صف قابل توجهی دارند. صف پیش از جراحی ناشی از کمبود ظرفیت یا زمان بندی نامناسب می باشد. صف بیماران غیر اورژانسی و عادی در اتاق عمل صفر می باشد که این امر به علت تعداد تخت های زیاد و مدت زمان بستری هر یک از بیماران در بخش های مربوطه خود می باشد. در مجموع، برخی بخش ها مانند اورژانس و مراقبت های ویژه و اتاق عمل عملکرد بسیار خوبی در کاهش طول صف داشته اند، در حالی که بخش هایی مانند پیش از جراحی و بخش عمومی با طول صف بیشتری روبه رو هستند.

با توجه به داده های حداکثر طول صف در بخش های مختلف بیمارستان، می توان عملکرد سیستم را در شرایط پیک و تراکم بیماران تحلیل کرد. در بخش اورژانس، حداکثر طول صف صفر می باشد که این نشان می دهد که حتی در شرایط اوج کاری نیز تعداد بیماران منتظر در صف اورژانس صفر بوده و عملکرد این بخش در مدیریت تراکم بیماران مؤثر می باشد. همچنین، در بخش مراقبت های ویژه قلبی صف کوتاهی داریم. همچنین لازم به ذکر است در بخش مراقبت های ویژه غیر قلبی نیز مانند بخش اورژانس صفی وجود ندارد. در مقابل، بخش هایی مانند پیش از جراحی، آزمایشگاه و بخش عمومی با حداکثر طول صف های بالاتری مواجه هستند. این مقادیر نشان دهنده ضرورت بهبود مدیریت ظرفیت و افزایش منابع در این بخش ها برای کاهش زمان و طول صف است.

متوسط مدت زمان ماندن در سیستم بین [۱۷۵،۵۰۲، ۱۴۳،۰۴۸] ساعت بوده و میانگین آن برابر با ۱۵۹،۲۷۵ ساعت است. این زمان نشان می دهد که به طور میانگین بیماران ۱۶۰ ساعت در سیستم بیمارستانی حضور دارند، که شامل تمامی مراحل دریافت خدمات از جمله پذیرش، درمان، و ترخیص می باشد. این مقدار نسبتاً مطلوب بوده و بیانگر کارایی سیستم در ارائه خدمات بدون ایجاد تأخیرهای طولانی است. کاهش این مدت می تواند از طریق بهینه سازی فرآیندهای پذیرش و درمان بهبود یابد.

متوسط تعداد عمل مجدد در بیمارستان بسیار پایین می باشد. این شاخص نشان دهنده کیفیت بالای خدمات درمانی و دقت در جراحی ها و مداخلات درمانی است. پایین بودن این مقدار نشان می دهد که اغلب بیماران پس از عمل جراحی پیچیده نیاز به بازگشت یا انجام عمل مجدد ندارند، که می تواند به دلیل رعایت استانداردهای بالا در ارائه خدمات درمانی باشد.

و در پایان متوسط تعداد بیماران فوت شده نیز بسیار کم گزارش شده است. این مقدار بیانگر نرخ مرگ و میر بسیار پایین در سیستم بیمارستانی است، که می تواند به مدیریت مناسب، تجهیزات پیشرفته، و تیم های درمانی ماهر نسبت داده شود.

## ۷. طرح تغییرات در سیستم اولیه

در فازهای قبلی سیستم بیمارستان را مدل‌سازی و توسط کد آن را شبیه‌سازی کردیم. در این فاز به تحلیل خروجی‌ها و مقایسه آن‌ها با دو سیستم جایگزین و طراحی شده، خواهیم پرداخت. با توجه به بررسی‌های انجام شده در فاز قبلی و خروجی‌های مربوط به شبیه‌سازی بیمارستان تصمیم به طراحی دو سیستم جایگزین به منظور پوشش ضعف‌های این سیستم کرده‌ایم. در ادامه به شرح هر یک از سیستم‌ها می‌پردازیم. دو سیستم طراحی شده عیناً مطابق سیستم اولیه می‌باشند مگر در بعضی قسمت‌ها که دچار تغییر در ظرفیت بخش‌ها و تجهیزات شده است. این دو سیستم با توجه به ضعف‌های موجود در روند فعلی طراحی شده‌اند که در ادامه به بررسی هر یک می‌پردازیم.

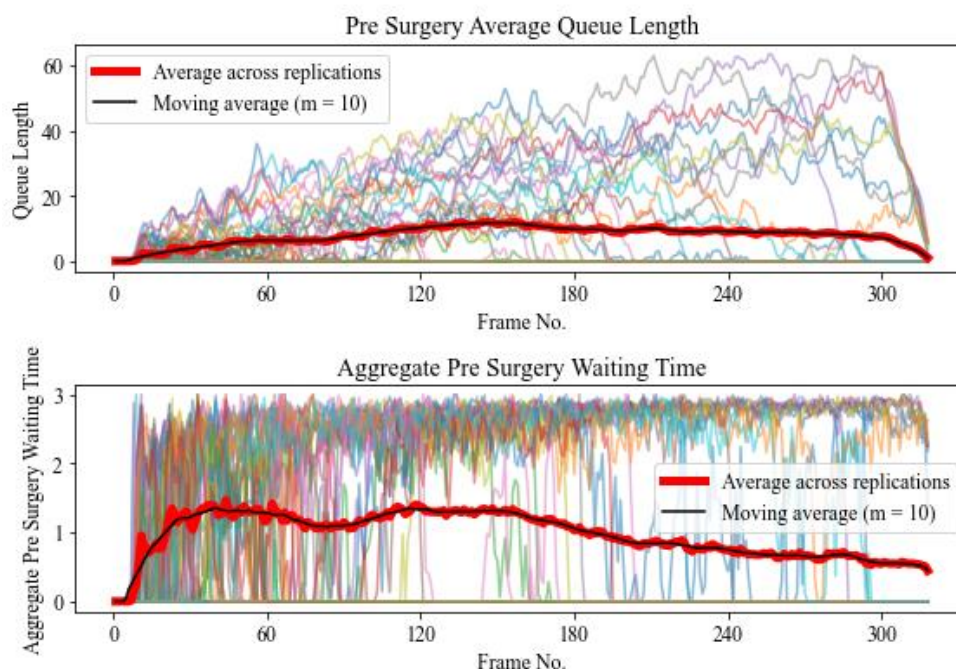
در سیستم اول زمان ماندن بیماران بخش پیش از جراحی را از ۴۸ به ۳۲ ساعت رسانده‌ایم تا بیماران زمان کمتری را در تخت‌های این بخش پس از انجام کار اداری و آزمایشات لازم، سپری کنند. همچنین ظرفیت تخت‌های این بخش را برای جلوگیری از صف‌های طولانی و نابسامانی در پذیرش این بیماران در حدود ۲۰ درصد افزایش داده‌ایم که به ۳۰ تخت در این بخش رسیده‌ایم. تغییر نهایی که در این سیستم اول اعمال شده مربوط به تخت‌های بخش عمومی می‌باشد. در این بخش تخت‌ها را حدود ۳۸ درصد افزایش داده‌ایم و به ظرفیت ۵۵ رسانده‌ایم. علت این تغییرات در این است که با کاهش مدت زمان ماندن بیماران در بخش پیش از جراحی روند انجام عمل را برای آن‌ها تا حدی سرعت بخشیده‌ایم. همچنین با توجه به اینکه تمامی بیماران اعم از نوع عمل و بخشی که می‌روند در نهایت به بخش عمومی مراجعه می‌کنند، صف بخش عمومی افزایش پیدا می‌کند و بیماران در زمان کمتری به این بخش می‌آیند که در نهایت باعث ناپایداری سیستم می‌شود. در نتیجه برای بهبود این جریان اقدام به افزایش ظرفیت کرده‌ایم.

در سیستم دوم زمان ماندن در بخش پیش از جراحی را به ۳۸ ساعت رسانده‌ایم. همچنین با تجهیز کردن اتاق عمل برای جراحی‌های پیچیده و متوسط، توانستیم مدت زمان هر یک از عمل‌ها را تا ۵ درصد کاهش دهیم. در این سیستم سعی بر کاهش ایجاد صف در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی نیز شده است. گاهی در برخی تکرارها شاهد تشکیل صف در این بخش مهم بوده‌ایم که در این راستا برای جبران این مشکل یکی به تخت‌های آن اضافه کرده‌ایم. در این سیستم نیز همانند بخش قبل تخت‌های بخش عمومی را افزایش دادیم تا از تشکیل صف طولانی و ناپایداری سیستم جلوگیری کنیم.

## ۱,۷ تحلیل سرد و گرم روی سیستم

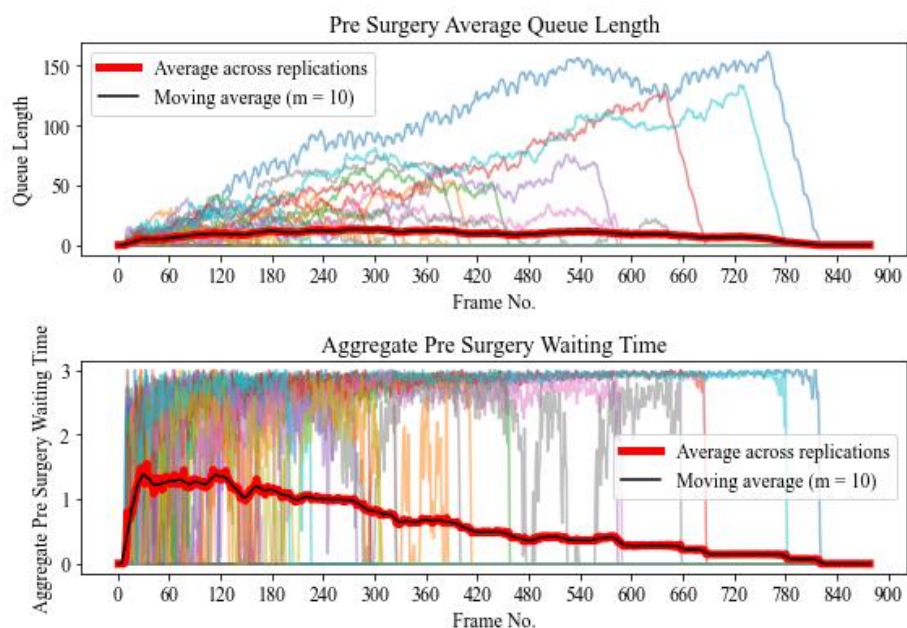
معیارهای منتخب برای تحلیل سرد و گرم برای این دو سیستم طراحی شده شامل میانگین طول صف و زمان انتظار در بخش پیش از جراحی، میانگین زمان انتظار در آزمایشگاه و بخش عمومی می‌باشند. برای تحلیل سرد و گرم سیستم از دو معیار اصلی میانگین مدت زمان انتظار و طول صف در بخش پیش از جراحی استفاده کرده‌ایم و سپس سایر معیارها را برای اطمینان از تشخیص درست بررسی می‌کنیم. بدین منظور برای محاسبه این معیارها ۴۰ مرتبه شبیه‌سازی را اجرا کرده‌ایم. میانگین متحرک نیز با پنجره ۱۰ رسم شده و از روی آن مشخص است که سیستم اول طبق تصویر بعد از ۸۰ فریم یا به عبارتی ۱۰ روز گرم می‌شود و می‌توانیم فرض کنیم که سیستم به حالت پایدار خود رسیده است ( $T_0 = 10$  روز). بنابراین شبیه‌سازی را برای  $T_E > 10 \cdot T_0$  اجرا می‌کنیم. در نهایت اجرای شبیه‌سازی به مدت ۱۱۰ روز انجام می‌شود و برای محاسبه معیارهای عملکردی از روز ۱۰ تا ۱۱۰ استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است برای این تحلیل سرد و گرم از طول فریم ۳ ساعت استفاده شده است. این نتیجه‌گیری برای هر دو سیستم طراحی شده برای زمان گرم شدن سیستم صادق است.

Warm-up analysis over 40 replications



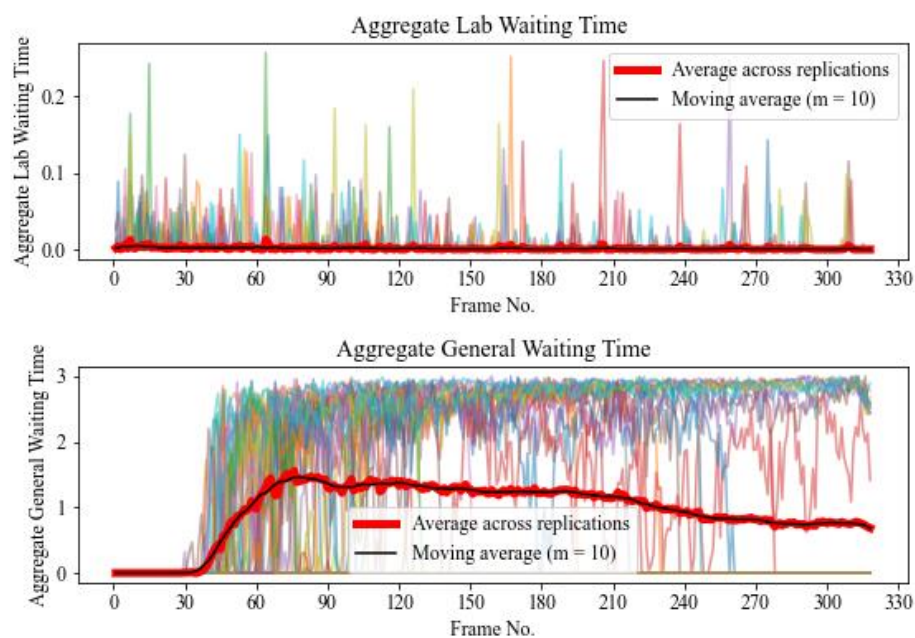
نمودار ۱-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار و طول صف در بخش پیش از جراحی در هر فریم زمانی قبل از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم اول

Warm-up analysis over 40 replications



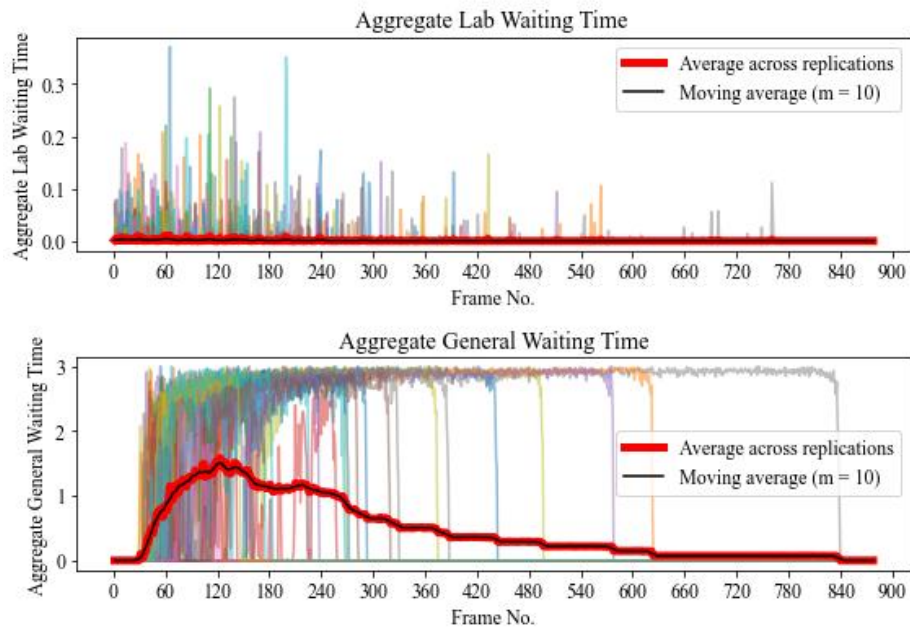
نمودار ۲-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار و طول صف در بخش پیش از جراحی در هر فریم زمانی بعد از تعیین زمان شبیه‌سازی  
برای سیستم اول

Warm-up analysis over 40 replications



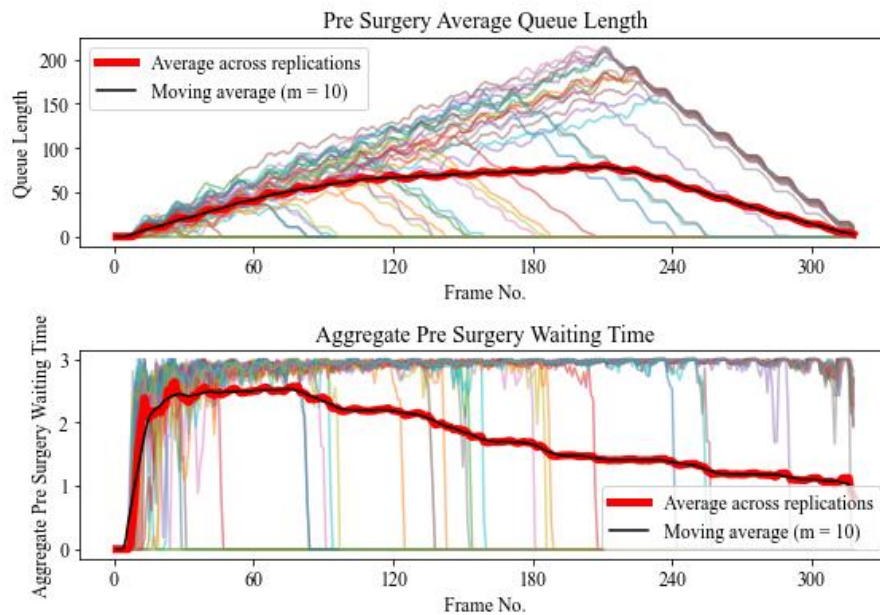
نمودار ۳-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار در صف‌های بخش آزمایشگاه و عمومی در هر فریم زمانی قبل از تعیین زمان شبیه‌سازی  
برای سیستم اول

Warm-up analysis over 40 replications



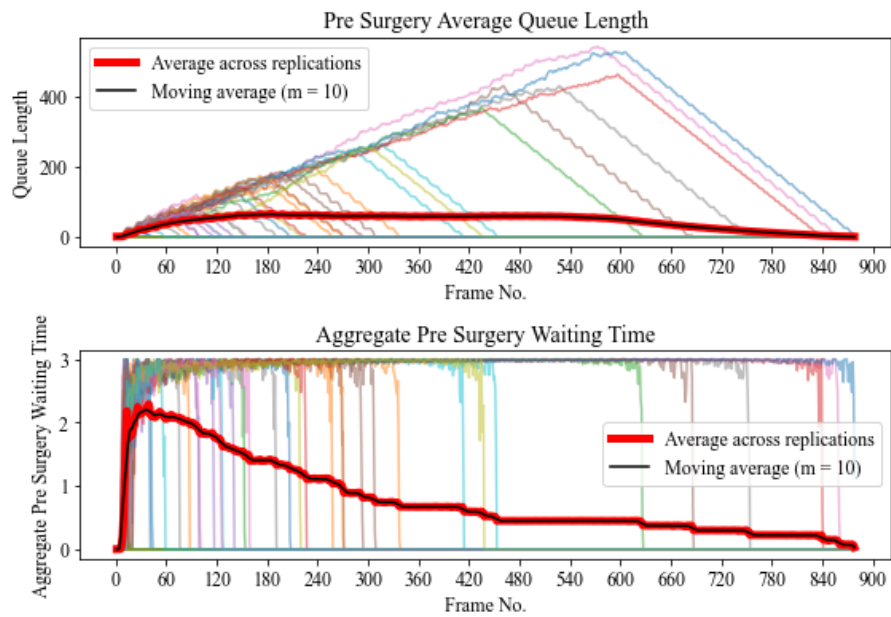
نمودار ۴-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار در صف‌های بخش آزمایشگاه و عمومی در هر فریم زمانی بعد از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم اول

Warm-up analysis over 40 replications



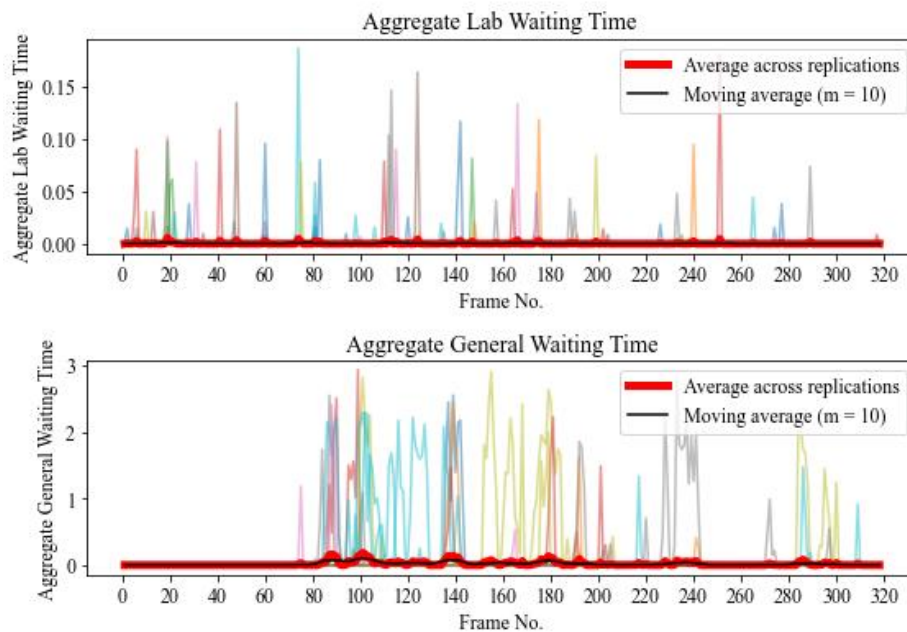
نمودار ۵-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار و طول صف در بخش پیش از جراحی در هر فریم زمانی قبل از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم دوم

Warm-up analysis over 40 replications



نمودار ۶-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار و طول صف در بخش پیش از جراحی در هر فریم زمانی بعد از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم دوم

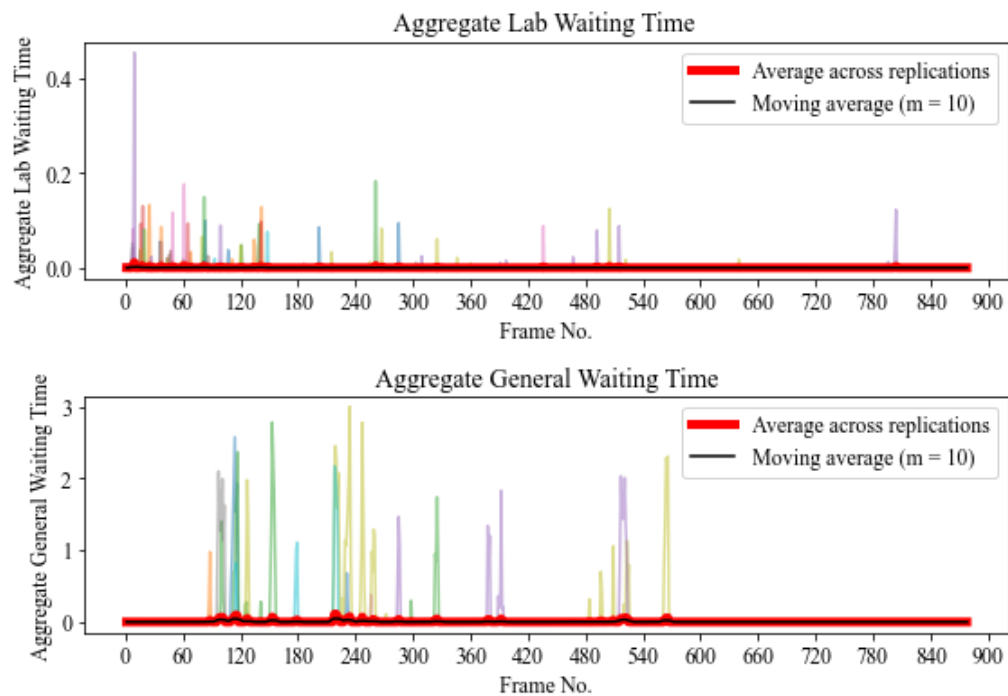
Warm-up analysis over 40 replications



نمودار ۷-۷ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار در صف‌های بخش آزمایشگاه و عمومی در هر فریم زمانی قبل از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم دوم



### Warm-up analysis over 40 replications



نمودار ۷-۸ روند تغییرات میانگین مدت زمان انتظار در صف‌های بخش آزمایشگاه و عمومی در هر فریم زمانی بعد از تعیین زمان شبیه‌سازی برای سیستم دوم

با توجه به نتایج به دست آمده از این قسمت بیشینه زمان گرم شدن سیستم را در دو حالت سیستم طراحی شده در نظر می‌گیریم. در بخش‌های آتی، زمان سرد شدن سیستم را از معیارها حذف کرده و هر یک از معیارهای مطلوب را محاسبه می‌کنیم.



## ۲,۷ مقایسه آماری سیستم اول و دوم

### ۱,۲,۷ مقایسه به روش نمونه گیری مستقل

برای مقایسه سیستم‌های اول و دوم با روش نمونه‌گیری مستقل، برنامه شبیه‌سازی را برای هر سیستم به تعداد ۴۵ مرتبه به صورت مستقل (با هسته‌های متفاوت) اجرا کرده و مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد مورد نظر را ذخیره می‌کنیم. در نظر داشته باشید که مقادیر خروجی سیستم اول را با  $Y_{1j}$  و مقادیر خروجی سیستم دوم را با  $Y_{2j}$  نشان می‌دهیم که در آن منظور از اندیس  $j$  هر بار اجرای شبیه‌سازی است. حال بازه اطمینان ۹۵ درصدی را به صورت زیر تشکیل می‌دهیم.

برآوردگر نقطه‌ای:

$$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$$

واریانس نمونه سیستم  $i$ :

$$S_i^2 = \frac{1}{R_i - 1} \sum_{r=1}^{R_i} (Y_{ir} - \bar{Y}_i)^2$$

در رابطه بالا منظور از  $R_i$ ، تعداد اجراهای برنامه شبیه‌سازی برای سیستم  $i$  است.

انحراف استاندارد:

$$s.e. (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) = \sqrt{\frac{S_1^2}{R_1} + \frac{S_2^2}{R_2}}$$

درجه آزادی:

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{R_1} + \frac{S_2^2}{R_2}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{S_1^2}{R_1}\right)^2}{R_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{R_2}\right)^2}{R_2 - 1}\right]}$$

بازه اطمینان:

$$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \pm t_{\alpha/2, v} \times \sqrt{\frac{S_1^2}{R_1} + \frac{S_2^2}{R_2}}$$

منظور از آلفا میزان سطح معناداری یا همان خطای نوع اول و  $t_{\alpha/2, v}$  مقدار بحرانی توزیع تی با سطح معناداری و درجه آزادی مشخص است.

حال با توجه به اینکه بازه اطمینان ارائه شده، مقدار صفر را در خود داشته باشد یا خیر و اینکه در قسمت مثبت یا منفی اعداد قرار بگیرد، برتری هر دو سیستم را بررسی می‌کنیم. در این مقایسه بررسی می‌کنیم که آیا این دو سیستم اختلاف معناداری دارند یا خیر.

## ۲,۲,۷ مقایسه معیارهای ارزیابی عملکرد

با توجه به اینکه زمان گرم شدن سیستم برابر  $T_0 = 10$  روز شد، در محاسبه معیارهای ارزیابی عملکرد نتایج را از زمان ۱۰ روز به بعد ثبت می‌کنیم و ماقبل آن که برای سرد بودن سیستم است را از نتایج حذف می‌کنیم. برای پیاده‌سازی این هدف در کد این قسمت شرط زمانی برای محاسبه در نظر گرفته شده است که برای اطلاعات بیشتر می‌توانید که به کد مربوطه مراجعه کنید.

معیار	برآورد نقطه‌ای به روش مستقل	برآورد بازه اطمینان به روش مستقل	درجه آزادی	استاندارد ارور
میانگین مدت زمان انتظار پیش از جراحی	۴۳۶.۰۳۳۸	[-۲۶۰.۸۵, ۱۱۳۲.۹۲]	۴۴	۳۴۵,۷۸
متوسط طول صف بخش پیش از جراحی	-۷۷.۹	[-۱۱۳.۳۸, -۴۲.۴۱۸]	۴۵	۱۷,۶۱۶۸
متوسط طول صف بخش عمومی	۹.۵۸۸	[۴.۵۷, ۱۴.۵۹۹]	۴۴	۲,۴۸۶
بهره‌وری مراقبت‌های ویژه قلبی	-۰.۰۴۹	[-۰.۱۰۹۴, ۰.۰۱۰۷]	۷۸	۰,۰۳

جدول ۷-۹ مقایسه آماری ۴ معیار سیستم به روش نمونه گیری مستقل

با توجه به نتایج نمونه گیری مستقل هر یک از معیارها را به طور جداگانه بررسی می‌کنیم. در مورد معیار میانگین مدت زمان انتظار در بخش پیش از جراحی نمی‌توان نظر دقیقی ارائه کرد زیرا بازه اطمینان شامل عدد صفر می‌باشد. اما در مورد معیار متوسط طول صف بخش پیش از جراحی به وضوح می‌توانیم مشاهده کنیم که در سیستم اول کمتر بوده است زیرا؛ در بازه اعداد منفی افتاده است. متوسط طول صف بخش عمومی در سیستم اول بیشتر از سیستم دوم بوده است و اگر از نظر عملکردی بخواهیم بخش عمومی را بررسی کنیم، سیستم دوم مطلوب تر است. در نهایت معیار بهره‌وری بخش مراقبت‌های ویژه را نیز بررسی کردیم؛ زیرا که در بعضی مواقع شاهد تشکیل صف در این بخش حساس می‌شدیم و می‌خواستیم عملکرد تخت‌های این بخش را بررسی کنیم. همانطور که مشاهده می‌کنیم این بازه شامل صفر می‌باشد و نمی‌توان نظر دقیقی ارائه کرد حتی با وجود اینکه یک تخت به بخش مراقبت‌های ویژه در سیستم دوم اضافه شده است. در نهایت برای تصمیم گیری بین این دو سیستم نیاز به بررسی معیارهای بیشتری داریم تا بتوان نظر قابل استنادی ارائه کرد. اما اگر بخواهیم از همین معیارها نتیجه‌گیری کنیم؛ می‌توان گفت که اگر بخش پیش از جراحی و طول صف آن اولویت بیشتری دارد سیستم اول را انتخاب می‌کنیم. همچنین اگر صف بخش عمومی و بیماران داخل سیستم اهمیت بیشتری داشته باشند، سیستم دوم را انتخاب می‌کنیم، زیرا طول صف بخش عمومی در آن به وضوح کمتر می‌باشد.

### ۳,۷ سیاست‌های بهبود در سیستم

با توجه به شهودی که از سه سیستم متفاوت این بیمارستان به دست آوردیم و روند کلی جریان بیماران، سیاست‌های پیشنهادی خود را در راستای بهبود این بیمارستان شرح می‌دهیم. در این بیمارستان اصلی ترین نقاط گلوگاهی بخش پیش از جراحی و عمومی می‌باشد که باید در راستای بهبود این دو بخش و جریان بهتر بیماران کوشا باشیم. می‌دانیم بیماران زیادی در صف انتظار بخش عمومی قرار می‌گیرند و باعث ناپایداری سیستم می‌شوند. یکی از دلایل تشکیل این صف طولانی مدت زمان بستری شدن بیماران در بخش پیش از جراحی قبل از شروع عمل آن‌ها می‌باشد. پس یکی از اقدامات لازم برای کاهش این صف، تسریع فرآیند ورود بیمار به اتاق عمل از پیش از جراحی است که این مورد را در هر دو سیستم طراحی شده در نظر گرفتیم. در بخش اورژانس بیمارستان، مشکلی از نظر مدت زمان انتظار و طول صف نداشتیم، بنابراین اقدامی در راستای تغییرات در این بخش نکردیم. همچنین در بخش آزمایشگاه نیز ما شاهد صف‌های طولانی یا مدت زمان‌های طولانی نخواهیم بود زیرا مدت زمان بستری بودن بیماران تناسب بین عرضه و تقاضا را در این بخش ایجاد می‌کند. در بخش اتاق

عمل ما دارای تخت‌های زیادی هستیم که در بیشتر مواقع بلااستفاده می‌مانند و تمامی ظرفیت آن‌ها استفاده نمی‌شود. در بخش‌های مراقبت‌های ویژه به علت احتمال کم پذیرش بیماران، صف و مدت زمان انتظار نداریم. در عوض در برخی مواقع به علت ظرفیت کمتر بخش مراقبت‌های ویژه قلبی شاهد صف می‌شویم که به منظور بهبود این جریان می‌توان ظرفیت این بخش حیاتی را در حدود ۲۰٪ (همانند سیستم دوم طراحی شده) افزایش داد. یکی دیگر از نقاط گلوگاهی این بیمارستان بخش عمومی می‌باشد که مقصد نهایی تمام بیماران می‌باشد و با تقاضای زیادی مواجه است. یکی دیگر از اقداماتی که در راستای کاهش صف بخش پیش از جراحی می‌توان انجام داد، کاهش زمان عمل‌های پیچیده و متوسط با تجهیز کردن اتاق عمل می‌باشد؛ اما همانطور که می‌دانیم این اقدام می‌تواند صف بخش عمومی را با تسریع جریان بیمار (بدین منظور که بیماران بیشتری با فاصله زمانی کمتری وارد این بخش می‌شوند) به شدت بیشتر کند. در نتیجه نوسانات زیادی در صف این بخش داریم که می‌تواند منجر به نارضایتی و بی‌کفایتی بیمارستان شود. به منظور بهبود آن می‌توانیم ظرفیت تخت‌های این بخش را افزایش دهیم. برای هر یک از این سیاست‌ها باید هزینه فرصت‌ها را در نظر گرفت و با توجه به برتری عملکردی و هزینه‌ای که ایجاد می‌کنند، از بینشان انتخاب کنیم. ترکیبی از این سیاست‌ها در دو سیستم طراحی شده اعمال شد که قطعا بهترین و یا بی‌عیب نخواهند بود و می‌توان سیستم‌های بهتری را نیز ایجاد کرد.