



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی صنایع

پروژه درس اصول شبیه سازی

نگارندگان:

محمد آرمان مقصودی و علی نصر اصفهانی

استاد درس:

سرکار خانم دکتر نفیسه صدقی

دستیاران آموزشی:

جناب آقایان عرفان امانی بنی و جناب آقای مهدی رحمانی طلب

پاییز ۱۴۰۳

بسم خدا

فهرست

۱. توصیف سیستم ۱
- ۱.۱. توصیف ایستایسیسم ۱
- ۱.۱.۱. متغیرهای حالت ۱
- ۱.۱.۲. پیشامدها ۲
- ۱.۱.۳. موجودیت ۳
- ۱.۱.۴. اعلان پیشامدها ۳
- ۱.۱.۵. تاخیرها ۴
- ۱.۱.۶. فعالیتها ۴
- ۲.۱. توصیف پویا سیستم ۵
- ۲.۱.۱. پیشامد ورود بیمار به بخش بستری پیش از عمل ۵
- ۲.۱.۲. پیشامد ورود بیمار به بخش اورژانس ۶
- ۲.۱.۳. پیشامد ورود بیمار به آزمایشگاه ۷
- ۲.۱.۴. پیشامد اتمام آزمایش ۸
- ۲.۱.۵. پیشامد ورود به اتاق عمل ۹
- ۲.۱.۶. پیشامد اتمام عمل ۱۰
- ۲.۱.۷. پیشامد خروج از ICU ۱۱
- ۲.۱.۸. پیشامد خروج از CCU ۱۲
- ۲.۱.۹. پیشامد وخیم شدن وضعیت یک بیمار ۱۳
- ۲.۱.۱۰. پیشامد مرخص شدن از بیمارستان ۱۴
۲. معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم ۱۵
۳. توزیعهای زمان عمل بیماران ۱۶
- ۳.۱. توزیع زمان عمل ساده ۱۶
- ۳.۲. توزیع زمان عمل متوسط ۱۸
- ۳.۳. توزیع زمان عمل پیچیده ۲۰

۱ توصیف سیستم

۱.۱ توصیف ایستا سیستم

۱.۱.۱ متغیرهای حالت

متغیرهای حالت	
PSB(t)	افراد حاضر در بخش پیش از عمل (تعداد تخت مشغول در بخش پیش از عمل) در زمان t
EB(t)	افراد حاضر در بخش اورژانس (تعداد تخت مشغول در اورژانس) در زمان t
NQ(t)	صف بخش پیش از عمل در زمان t
EQ(t)	صف اورژانس در زمان t
LNQ(t)	صف بیماران عادی برای آزمایشگاه در زمان t
LEQ(t)	صف بیماران ضروری برای آزمایشگاه در زمان t
LB(t)	تعداد تخت مشغول در آزمایشگاه در زمان t
NSQ(t)	تعداد بیماران عادی در صف جراحی در زمان t
ESQ(t)	تعداد بیماران ضروری در صف جراحی در زمان t
SB(t)	تعداد بیماران در اتاق عمل (تعداد تخت مشغول در اتاق عمل) در زمان t
WB(t)	تعداد بیماران در بخش عمومی (تعداد تخت مشغول در بخش عمومی) در زمان t
ICUB(t)	تعداد بیماران در بخش مراقبت‌های ویژه (تعداد تخت مشغول در بخش مراقبت‌های ویژه) در زمان t
CCUB(t)	تعداد بیماران در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی (تعداد تخت مشغول در بخش مراقبت‌های قلبی) در زمان t

صف بخش عمومی در زمان t	WQ(t)
صف بخش مراقبت‌های ویژه در زمان t	ICUQ(t)
صف بخش مراقبت‌های ویژه قلبی در زمان t	CCUQ(t)

۱.۱.۲ پیشامدها

پیشامدها	
پیشامد ورود بیمار به بخش بستری پیش از عمل	APS
پیشامد ورود بیمار به بخش اورژانس	AE
پیشامد ورود بیمار به آزمایشگاه	AL
پیشامد اتمام آزمایش	DL
پیشامد ورود به اتاق عمل	AS
پیشامد اتمام عمل	DS
پیشامد خروج از ICU	DICU
پیشامد خروج از CCU	DCCU
پیشامد وخیم شدن وضعیت یک بیمار	PSW
پیشامد مرخص شدن از بیمارستان	DW
پیشامد پایان شبیه‌سازی	ES

۱.۱.۳ موجودیت

بیمار شماره r با ویژگی‌های i, j, k, l (P_{ijkl}^r, t)

ویژگی‌ها:

۱. نوع مراجعه ($i \in \{1: \text{عادی}, 2: \text{اورژانسی}\}$)
 ۲. نوع جراحی ($j \in \{1: \text{ساده}, 2: \text{متوسط}, 3: \text{پیچیده}\}$)
 ۳. نوع کلیت جراحی ($k \in \{1: \text{غیرقلبی}, 2: \text{قلبی}\}$)
 ۴. وضعیت حیات ($l \in \{1: \text{زنده}, 2: \text{فوت‌شده}\}$)
- در ابتدای ورود بیمار، وضعیت حیات آن «زنده» است و مقداری برابر با ۱ دارد، اما در طی شبیه‌سازی ممکن است به احتمالی فوت شود و وضعیت حیات آن به «فوت‌شده» تغییر کند.

۱.۱.۴ اعلان پیشامدها

اعلان پیشامدها
(APS, t, P_{ijkl}^r)
(AE, t, P_{ijkl}^r)
(AL, t, P_{ijkl}^r)
(DL, t, P_{ijkl}^r)
(AS, t, P_{ijkl}^r)
(DS, t, P_{ijkl}^r)
$(DICU, t, P_{ijkl}^r)$
$(DCCU, t, P_{ijkl}^r)$
(PSW, t, P_{ijkl}^r)
(DW, t, P_{ijkl}^r)
$(ES, 43200^{\min})$

برای سادگی در ابتدا فرض شده است که می‌خواهیم ۱ ماه شبیه‌سازی انجام دهیم.

در شروع شبیه‌سازی ($t=0$)، پیشامدهای AE، AL و ES وارد FEL می‌شوند.

۱. ۱. ۵ تاخیرها

انتظار بیمار در هر صف (صف بخش بستری، اورژانس، آزمایشگاه، اتاق عمل، بخش عمومی، ICU و CCU).

۱. ۱. ۶ فعالیت‌ها

۱) زمان کارهای اداری پس از بستری شدن برای بیماران عادی (S_1^*) - مقدار آن ثابت و برابر با ۶۰ دقیقه است.

۲) زمان کارهای اداری پس از بستری شدن برای بیماران ضروری (S_2^*) - مقدار آن ثابت و برابر با ۱۰ دقیقه است.

۳) مدت زمان انجام آزمایش (S_3^*)

۴) زمان بستری پس از آزمایش برای بیماران عادی (S_4^*) - مقدار آن ثابت و برابر با ۲ روز است.

۵) زمان بستری پس از آزمایش برای بیماران ضروری (S_5^*)

۶) مدت زمان جراحی نوع ساده (S_6^*)

۷) مدت زمان جراحی نوع متوسط (S_7^*)

۸) مدت زمان جراحی نوع پیچیده (S_8^*)

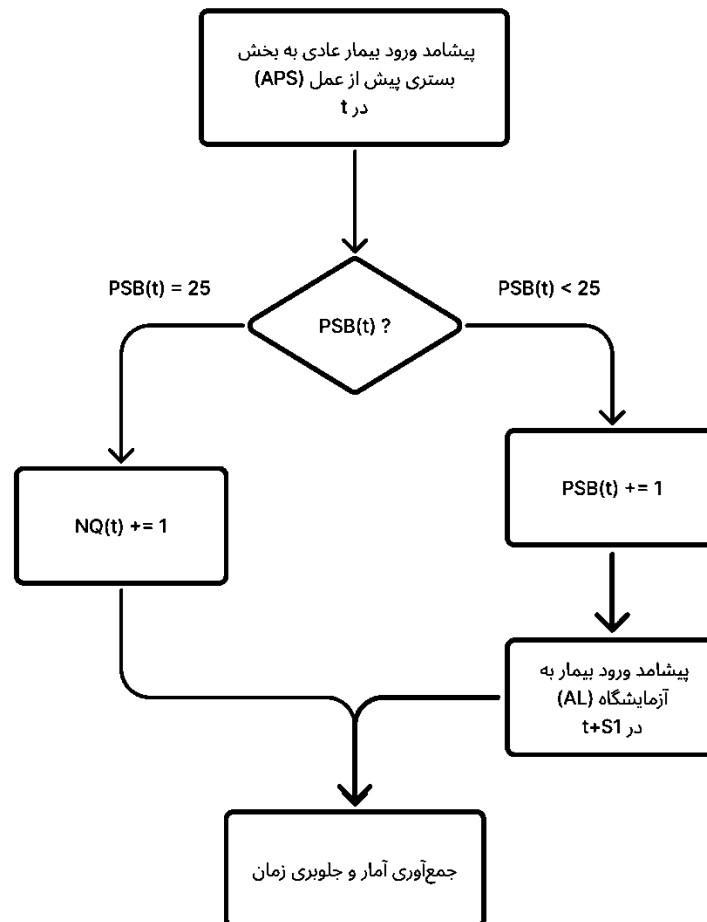
۹) مدت زمان بستری در بخش ICU (S_9^*)

۱۰) مدت زمان بستری در بخش CCU (S_{10}^*)

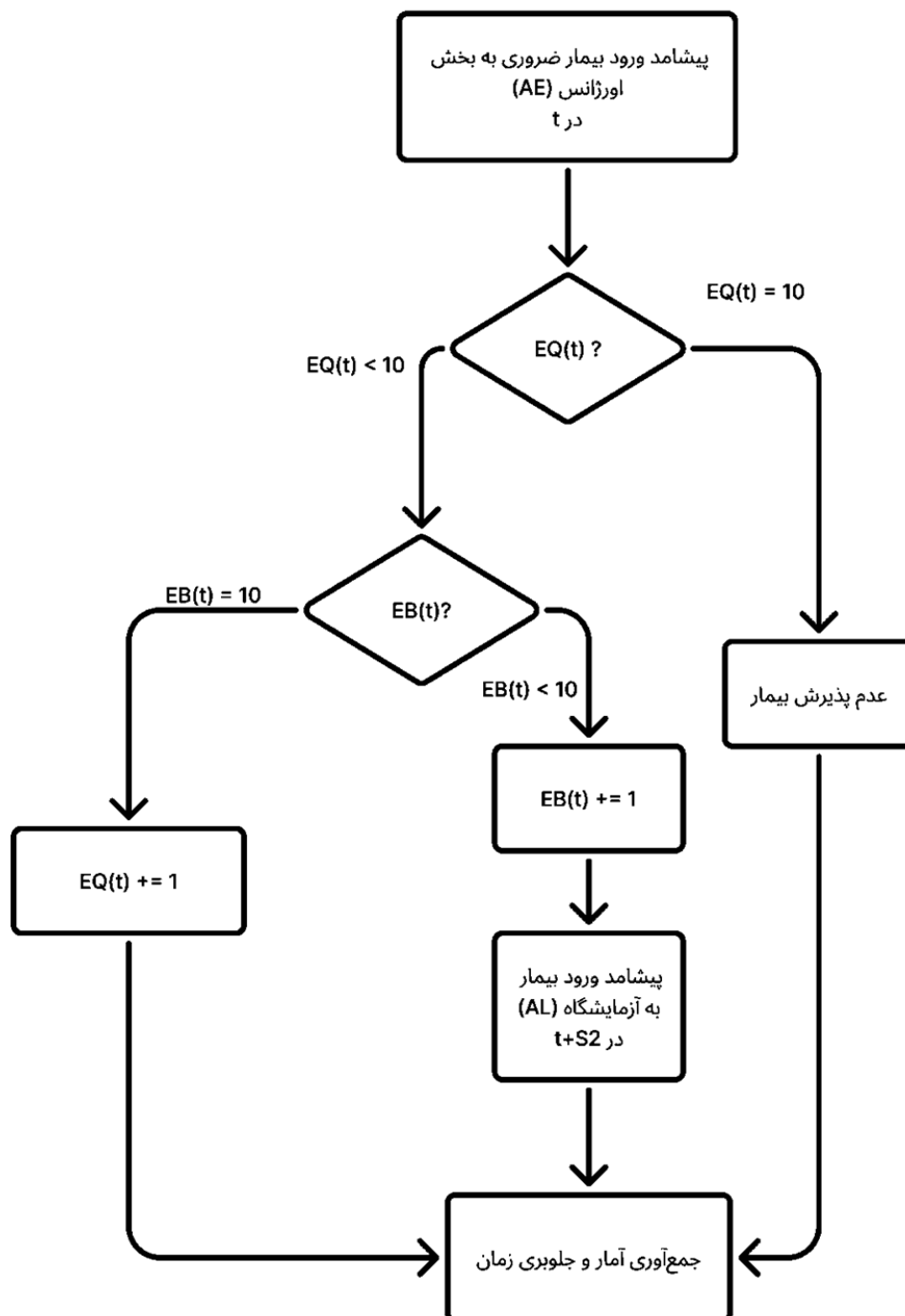
۱۱) مدت زمان بستری در بخش عمومی (S_{11}^*)

۲.۱ توصیف پویا سیستم

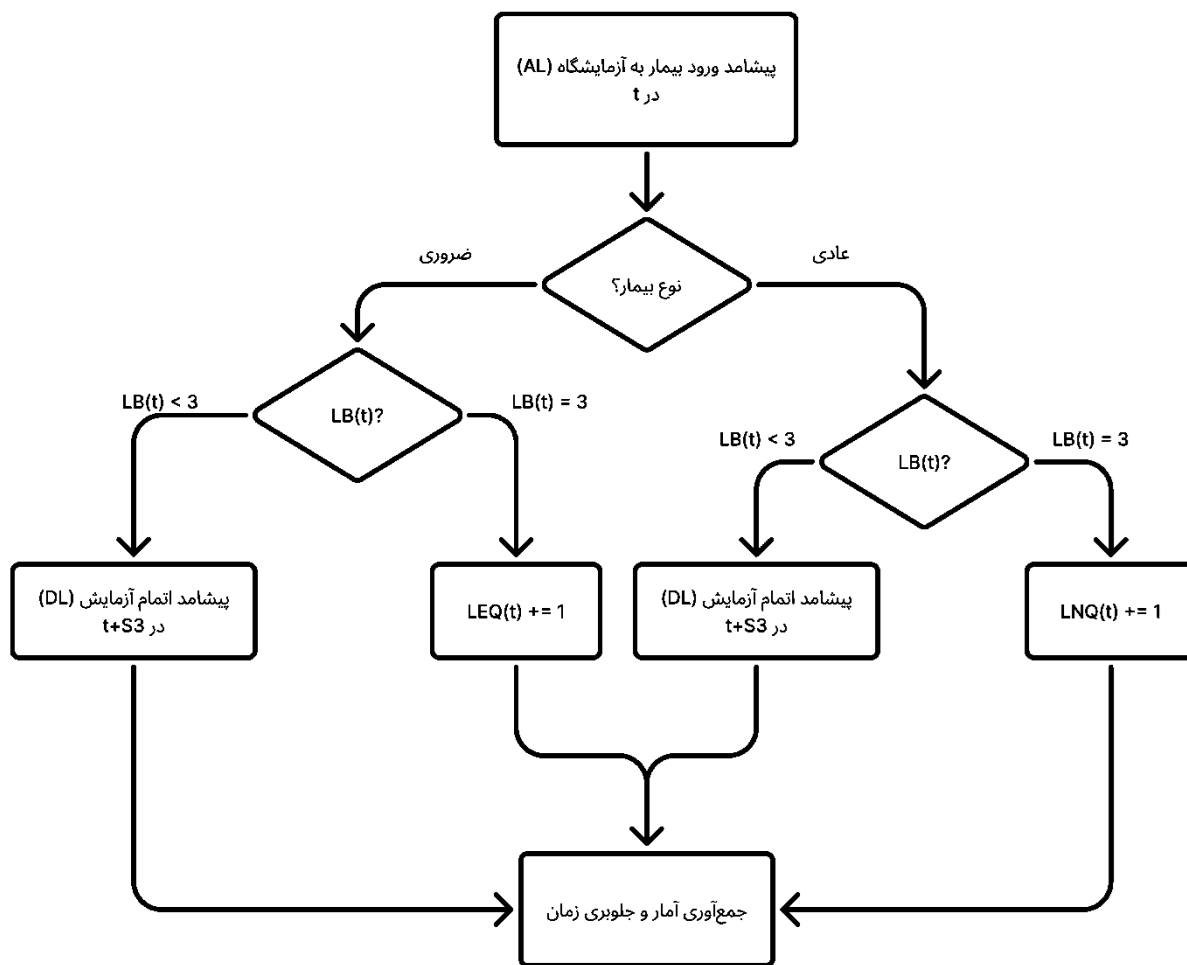
۱.۲.۱ پیشامد ورود بیمار به بخش بستری پیش از عمل



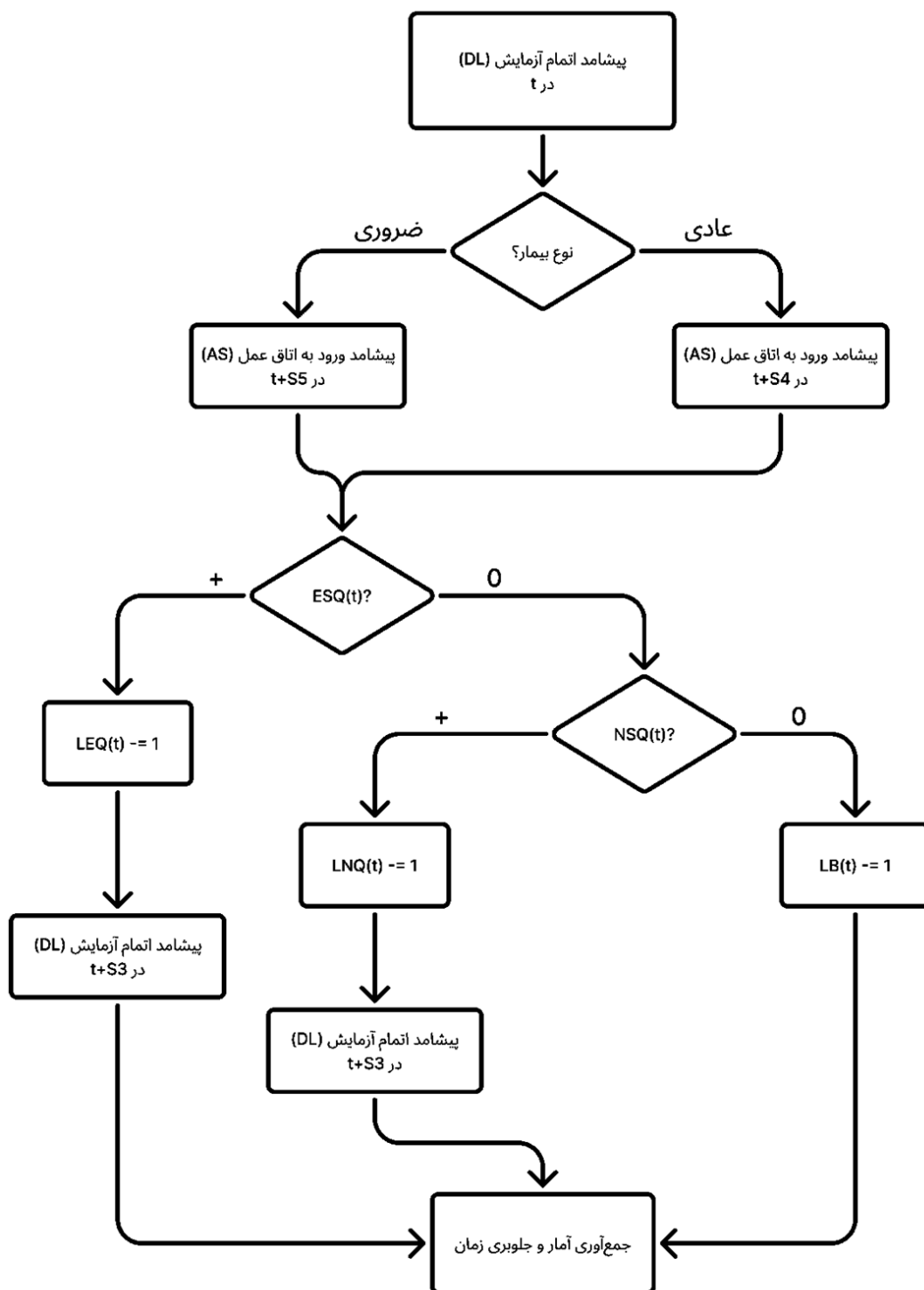
۲.۲.۱. پیشامد ورود بیمار به بخش اورژانس



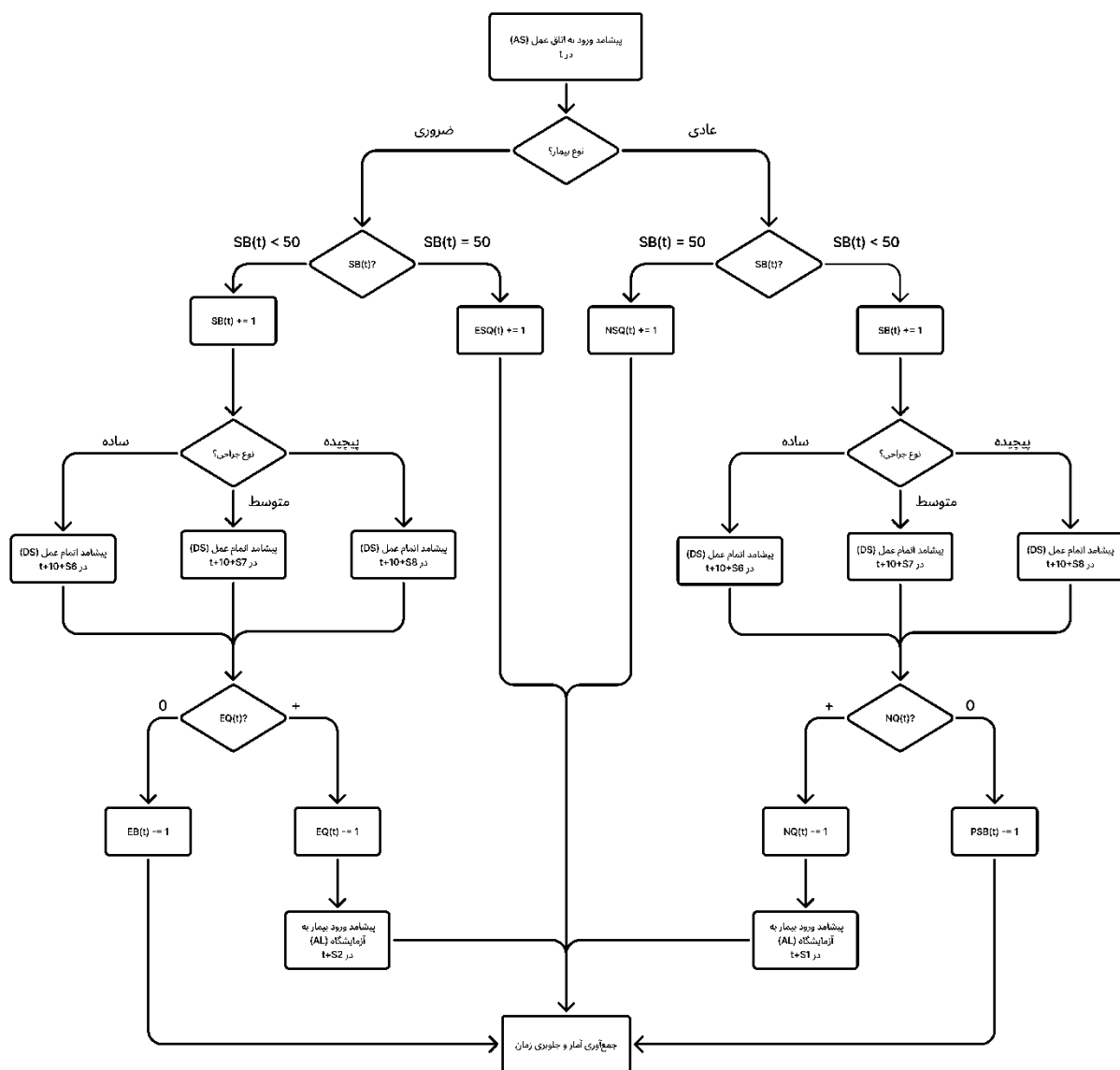
۳.۲.۱. پیشامد ورود بیمار به آزمایشگاه



۱.۲.۴ پیشامد اتمام آزمایش

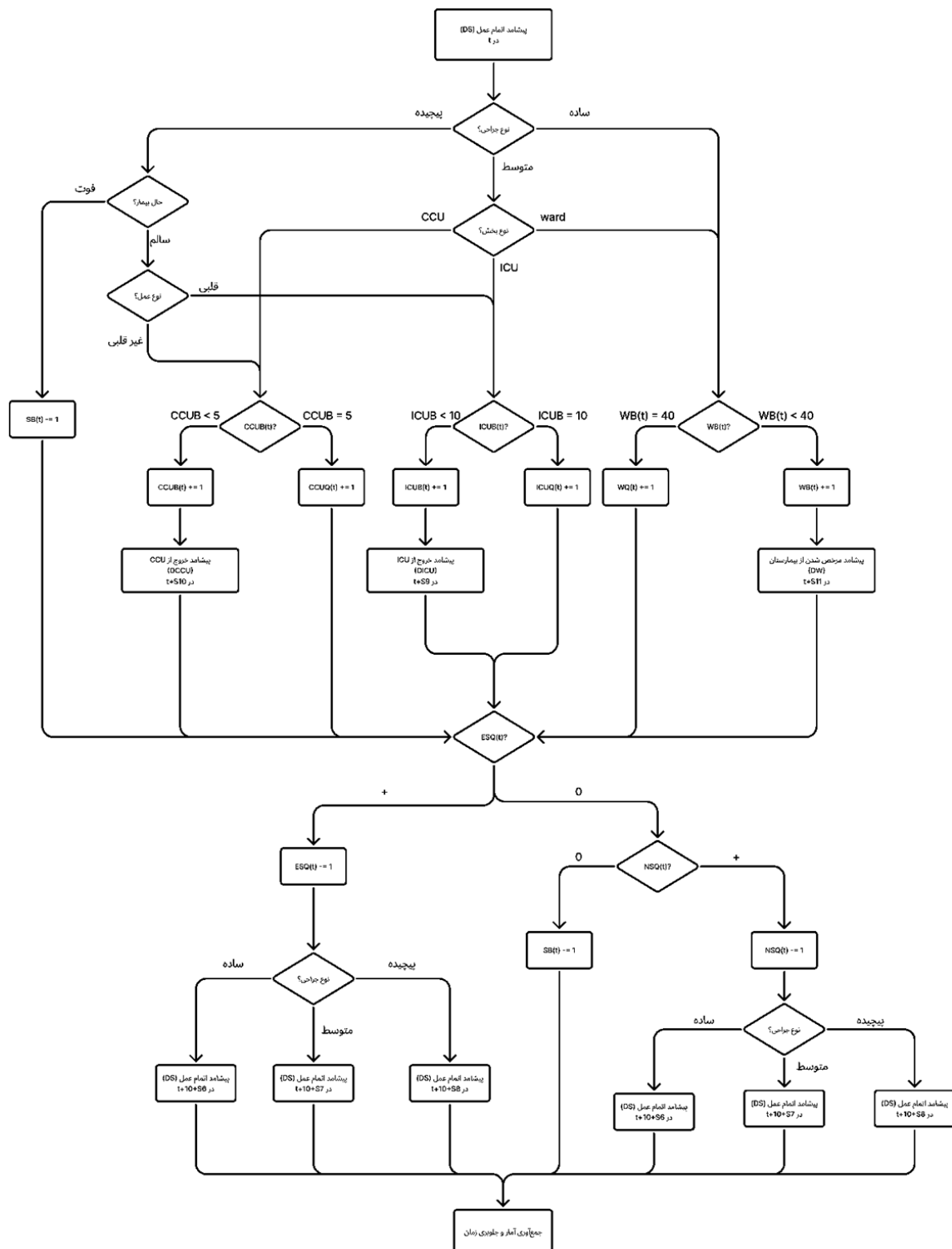


۱.۲.۵ پیشامد ورود به اتاق عمل

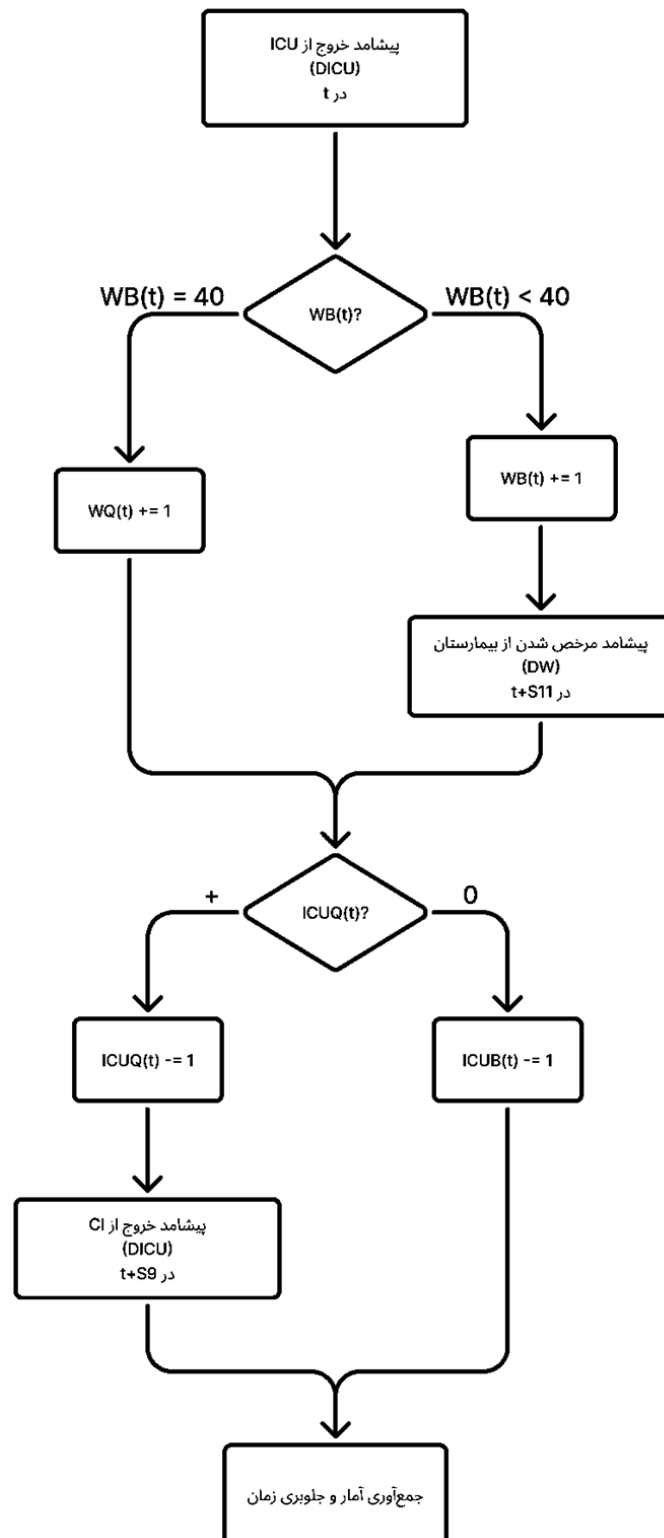


- زمانی که یک بیمار از صف اتاق عمل به تختی از اتاق عمل که به تازگی خالی شده است اختصاص می‌یابد، ۱۰ دقیقه زمان آماده‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

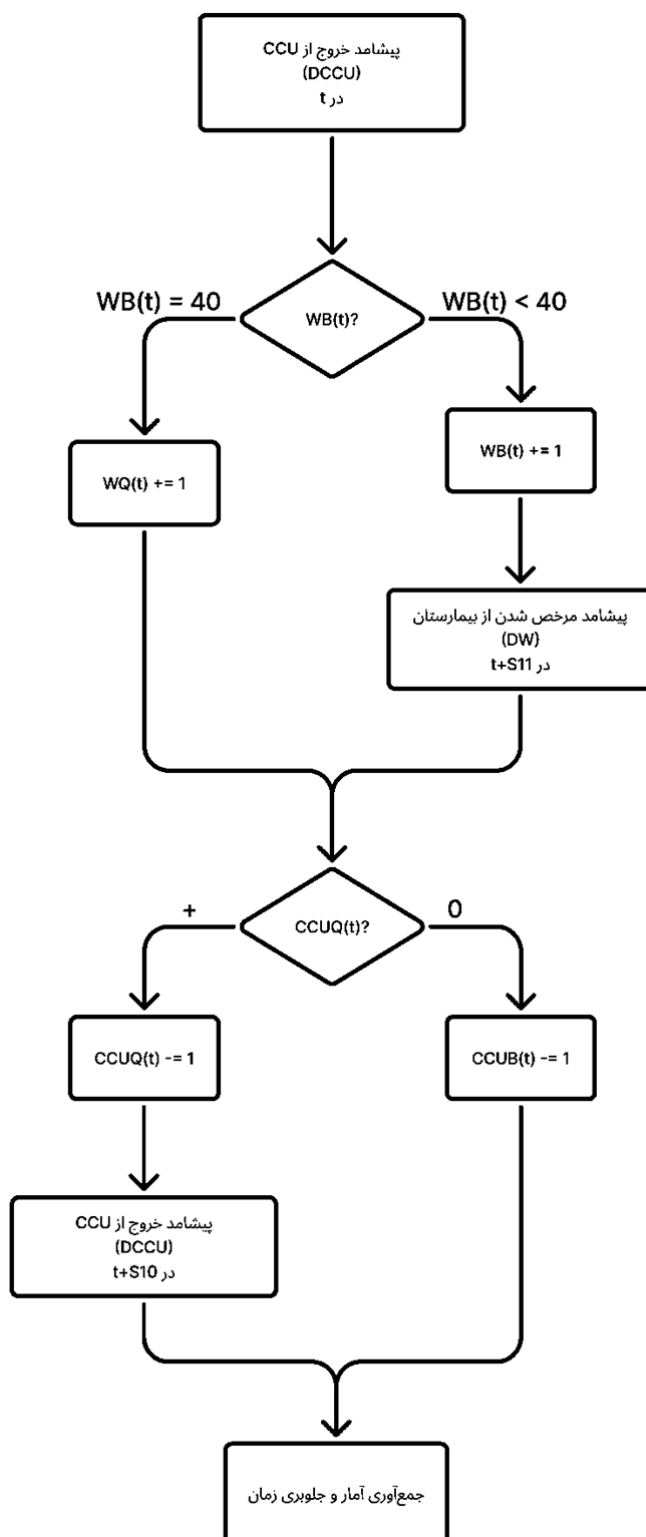
۶.۲.۱ پیشامد اتمام عمل



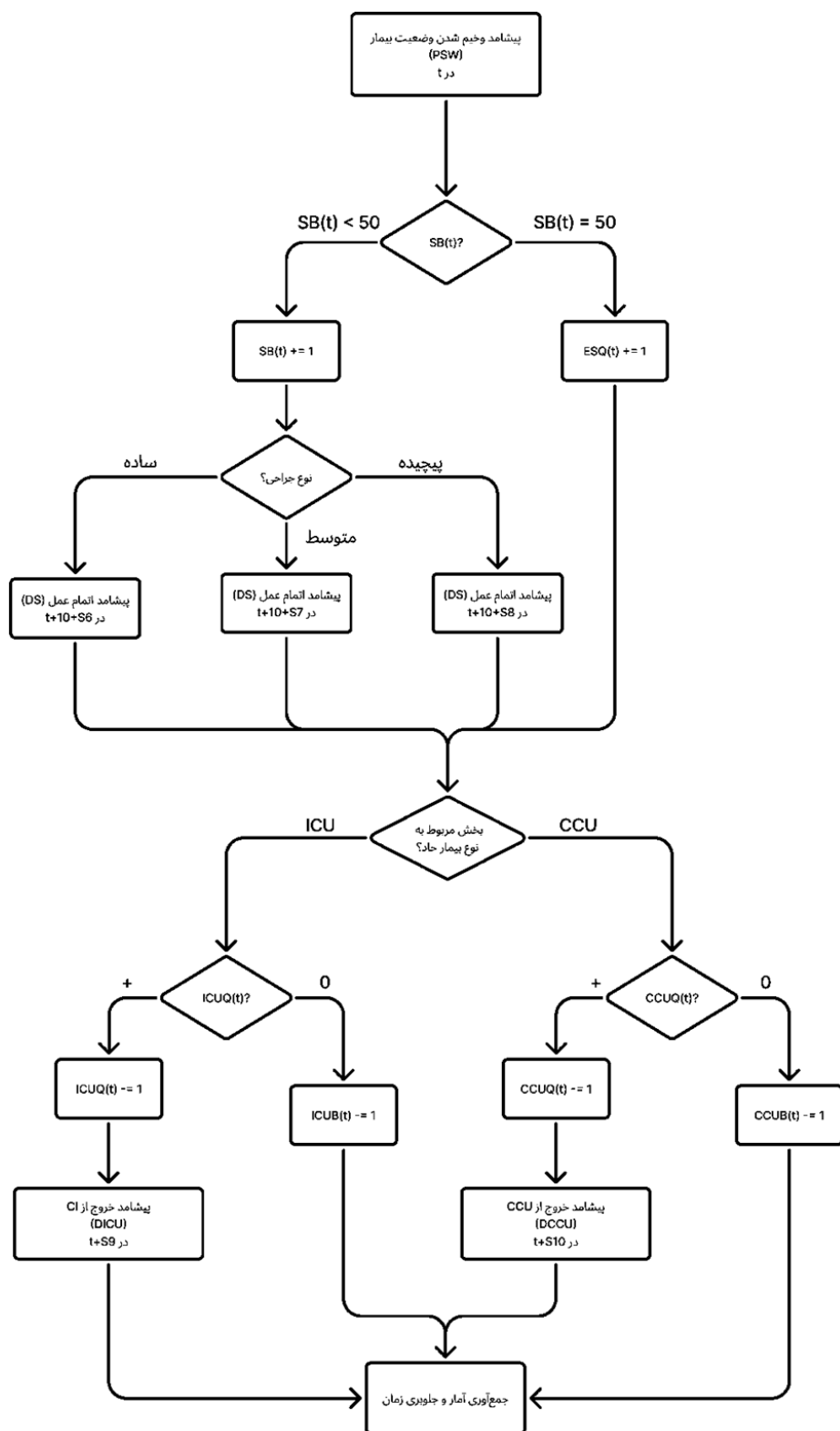
۱.۲.۷ پیشامد خروج از ICU



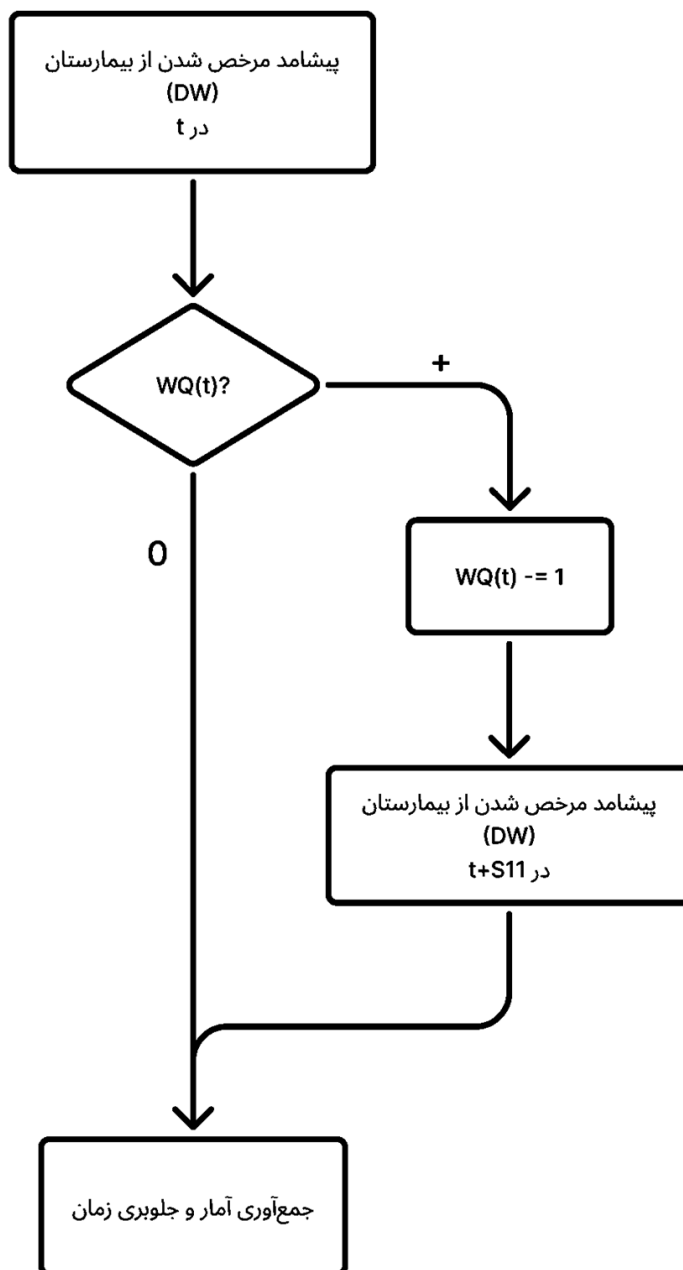
۸.۲.۱ پیشامد خروج از CCU



۹.۲.۱ پیشامد وخیم شدن وضعیت یک بیمار



۱.۲.۱۰ پیشامد مرخص شدن از بیمارستان



۲ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

(۱) میانگین مدت زمان انتظار در صف و طول صف مربوط به بیماران اورژانسی در هر بخش از سیستم: از آنجا که بیماران اورژانسی نیازمند واکنش سریع تر هستند و اولویت بالاتری دارند، باید بتوان حضور آنها در بخش‌های مختلف را زیر نظر گرفت، تا از خطرات احتمالی که با جان انسان‌ها سر و کار دارد جلوگیری کرد.

$$\text{Average Queue Length} = \frac{\int_0^{\text{Simulation Time}} (\text{Queue length}_t) dt}{\text{Simulation Time}}$$

Waiting time = زمان ورود به صف - زمان خروج از صف

$$\text{Average Waiting Time} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Waiting Time}_i}{n}$$

(۲) میانگین مدت زمان بستری بیماران با جراحی ساده در بخش عمومی:

این شاخص می‌تواند در بهبود عملکرد بیمارستان از طریق مناسب بودن میزان بستری بیماران با شرایط غیر پیچیده، به واسطه افزایش بهره‌وری در ترخیص و عدم بستری غیرضروری آنها، کمک کند.

Average Hospitalization Time of Patients with Normal Surgery at Ward

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \text{Hospitalization Time}_i}{n}$$

(۳) میانگین مدت زمان حضور بیماران عادی در بیمارستان:

درواقع به دلیل این که در اکثر اوقات بیماران به صورت عادی به بیمارستان مراجعه می‌کنند، با این معیار می‌توان دید خوبی از میانگین مدت زمان بین ورود و خروج بیماران کسب کرد.

$$\text{APN} = \frac{\sum_{i=1}^{NN} (\text{زمان مرخص شدن بیمار عادی} - \text{زمان ورود بیمار عادی})}{\text{(NN) تعداد بیماران عادی}}$$

۴) کارایی تخت‌ها در بخش‌های مختلف بیمارستان:

کارایی تخت‌ها به سادگی می‌تواند درصد ثمربخشی تعداد تخت‌های به‌کاررفته در هر بخش را نشان دهد. بدین صورت که اگر این معیار از حدی کمتر باشد، می‌توان تعدادی از تخت‌ها را حذف و از هزینه‌ها کم کرد و اگر این معیار از حدی بیشتر باشد، می‌توان گفت که احتمالاً بیمارستان نیاز به توسعه و افزایش تخت‌های خود دارد تا به سطح مطلوبی از عملکرد برسد.

$$BE = \frac{\int_0^{\text{Simulation Time}} (\text{Number of Busy Beds}_t) dt}{\text{Simulation Time} \times \text{Number of Beds}}$$

۵) درصد بیماران عادی و اورژانسی‌ای که بلافاصله پذیرش می‌شوند:

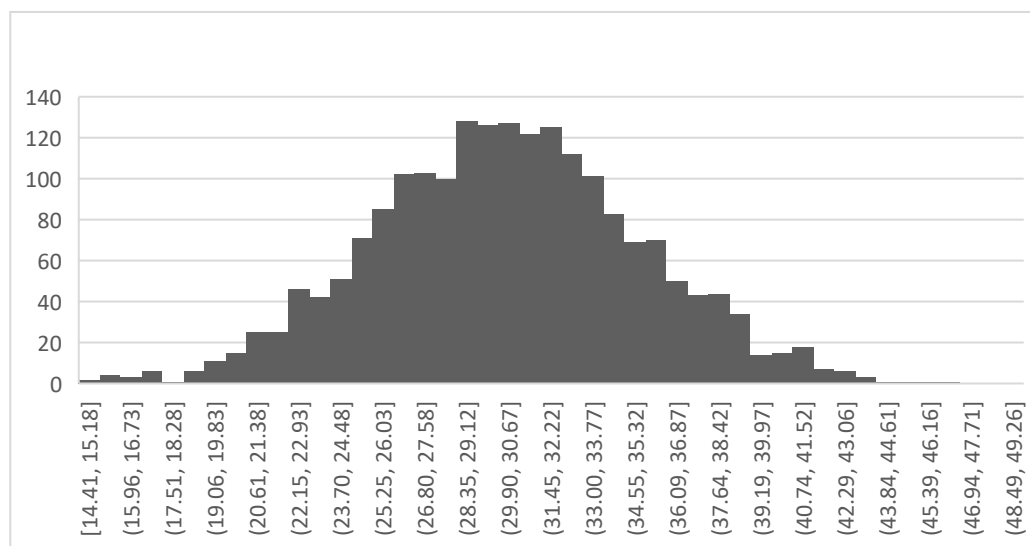
یکی از مهم‌ترین نکاتی که بر روی رضایت بیماران تأثیرگذار است، سرعت پاسخگویی بلادرنگ است؛ به همین دلیل محاسبه این شاخص به بهبود خدمت‌دهی و افزایش رضایت بیماران کمک می‌کند.

$$ISP = \frac{\text{تعداد بیماران اورژانسی (عادی) که بلافاصله پذیرش می‌شوند}}{\text{تعداد کل بیماران اورژانسی (عادی)}}$$

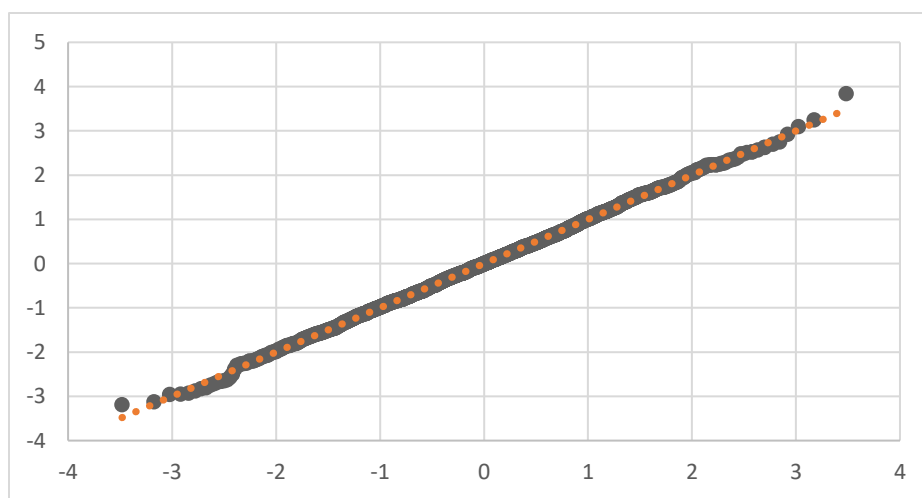
۳ توزیع‌های زمان عمل بیماران

۳.۱ توزیع زمان عمل ساده

در ابتدا هیستوگرام داده‌های موردنظر را رسم می‌کنیم؛ نمودار ۱ هیستوگرام زمان عمل ساده را نشان می‌دهد. با توجه به تعداد داده‌ها (۲۰۰۰ عدد)، تعداد بازه‌ها 45 در نظر گرفته شده است. به‌صورت شهودی توزیع مربوط به این نمودار رفتاری شبیه به توزیع نرمال دارد. برای بررسی بیشتر نمودار q-q داده‌ها نیز در نمودار ۲ قابل مشاهده است.



نمودار ۱: هیستوگرام مدت زمان عمل های ساده (واحد: دقیقه)



نمودار ۲: q-q مدت زمان عمل های ساده (واحد: دقیقه)

طبق نمودارهای ۱ و ۲ و با استفاده از روش MLE، داده های جمع آوری شده از توزیع نرمال با میانگین ۳۰.۲۲ دقیقه و واریانس ۴.۹۶ برخوردار است (میانگین و واریانس نمونه). در انتها این ادعا را با آزمون فراوانی مربع کای مورد بررسی قرار می دهیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای مذکور منطبق است: H_0 :

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال منطبق نیست: H_1 :

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

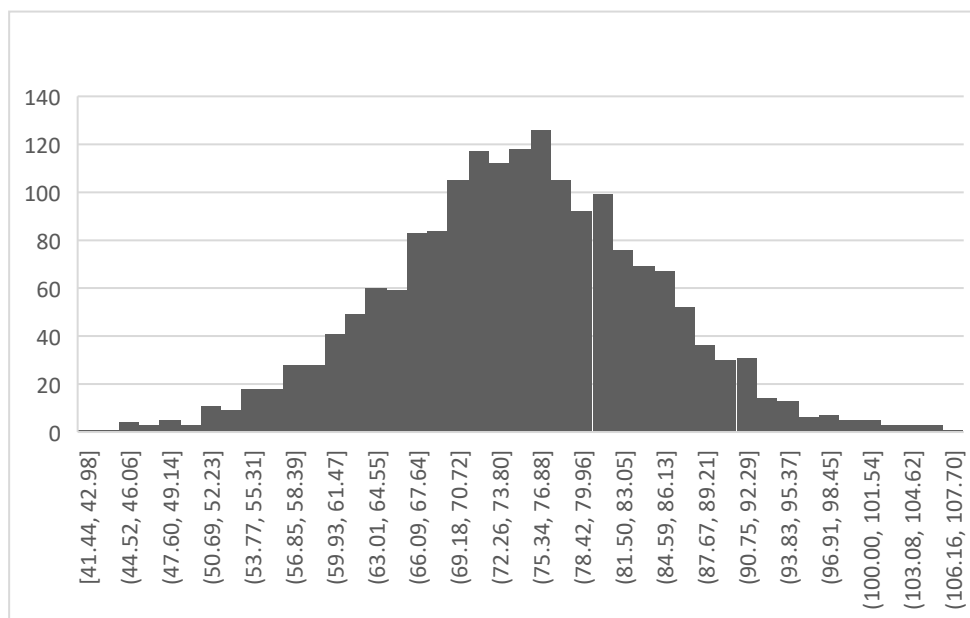
آماره: χ^2

منظور از E_i تعداد مشاهدات قابل انتظار در بازه i و منظور از O_i تعداد کل مشاهدات است. مقدار آماره برابر با ۳۳.۱۶ خواهد بود. سپس مقدار بحرانی $(\chi^2_{\alpha, K-S-1})$ را به دست می آوریم. (K تعداد بازه ها و S تعداد پارامترهای توزیع است.) با سطح معنی داری ۵ درصدی، مقدار بحرانی برابر با ۵۸.۱۲ خواهد بود. بنابراین شواهد کافی برای رد فرض تطابق داده ها با توزیع نرمال مذکور وجود ندارد. بنابراین:

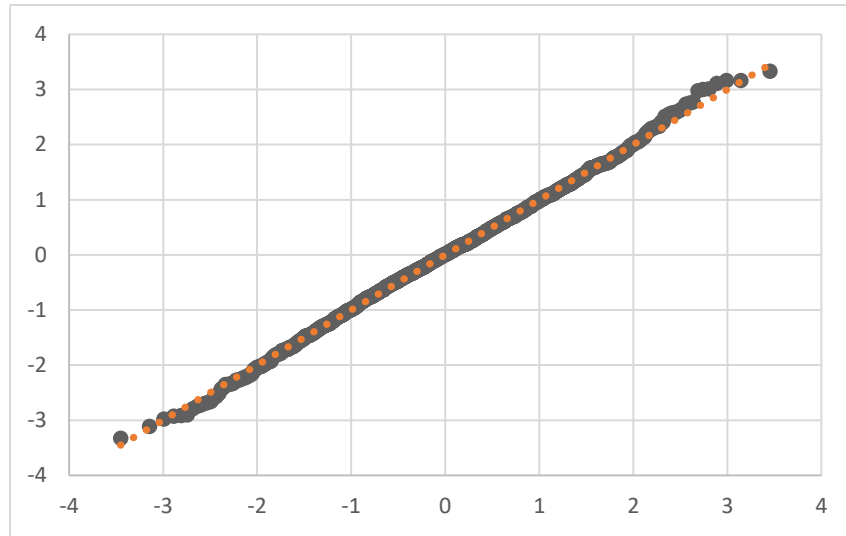
$$D_1 \sim N(30.22^{\min}, 4.96)$$

۲.۳ توزیع زمان عمل متوسط

به طور مشابه هیستوگرام داده های جمع آوری شده از مدت زمان عمل های متوسط را در ۴۳ بازه (چون ۱۸۰۰ عدد داریم) رسم می کنیم. نمودار ۳ مشابه نمودار ۱ رفتاری شبیه به توزیع نرمال دارد. همچنین نمودار q-q (نمودار ۴) به خوبی این موضوع را تایید می کند.



نمودار ۳: هیستوگرام مدت زمان عمل های متوسط (واحد: دقیقه)



نمودار ۴: q-q مدت زمان عمل‌های متوسط (واحد: دقیقه)

با استفاده از روش MLE میانگین این توزیع ۷۴.۵۴ دقیقه و واریانس آن ۹.۵۳ است. در نهایت آزمون فراوانی مربع کای را برای این توزیع تکرار می‌کنیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای مذکور منطبق است: H_0 :

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال منطبق نیست: H_1 :

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

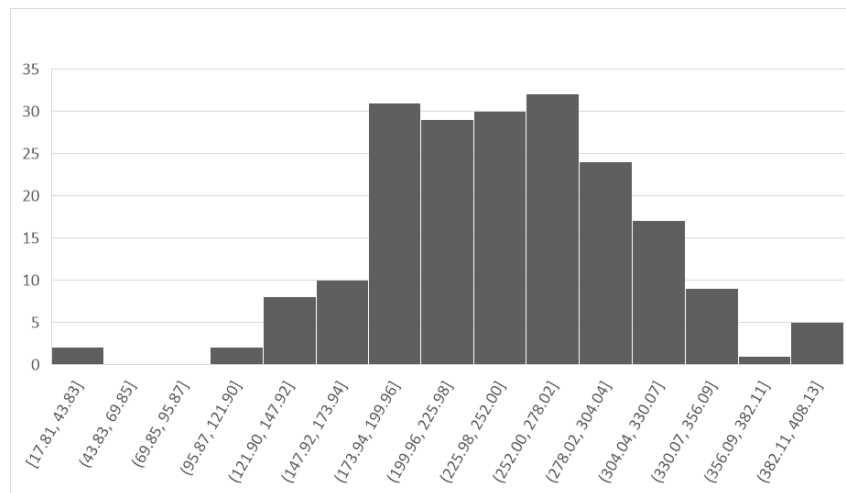
آماره:

مقدار آماره آزمون برابر با ۳۳.۶۴ و مقدار بحرانی با سطح معنی‌داری ۵ درصدی، برابر با ۵۵.۷۶ خواهد بود. بنابراین شواهد کافی برای رد فرض تطابق داده‌ها با توزیع نرمال مذکور وجود ندارد. بنابراین:

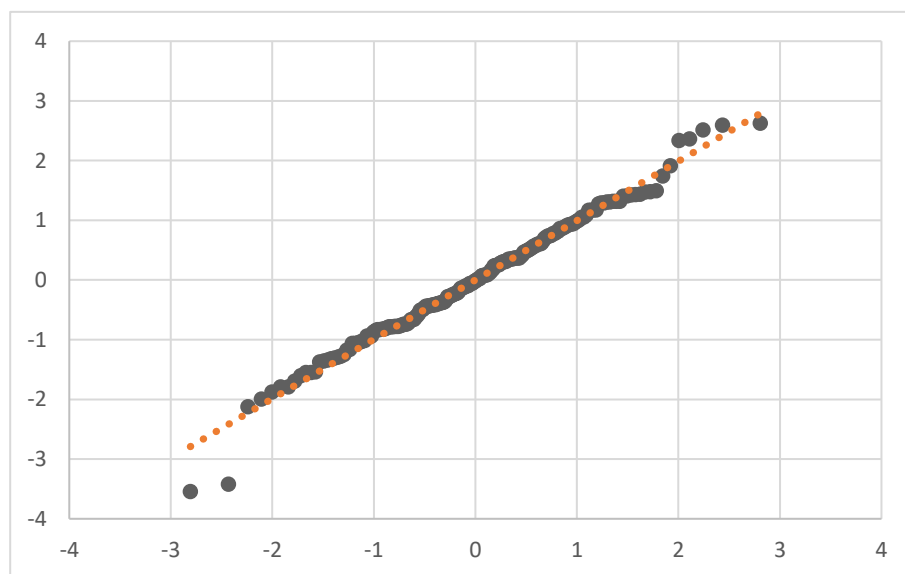
$$D_p \sim N(74.54^{min}, 9.53)$$

۳.۳ توزیع زمان عمل پیچیده

به طور مشابه هیستوگرام داده‌های جمع‌آوری شده از مدت زمان عمل‌های پیچیده را در ۱۵ بازه (چون ۲۰۰ عدد داریم) رسم می‌کنیم. نمودار ۵ مشابه نمودار ۱ رفتاری شبیه به توزیع نرمال دارد. همچنین نمودار $q-q$ (نمودار ۶) به خوبی این موضوع را تایید می‌کند. (می‌توان در اینجا بدلیل اینکه دو داده ابتدایی در ابتدا بازه هستند و از اهمیت کمتری برخوردارند و به دلیل احتمال ایجاد اختلال در آزمون مربع کای و استدلال‌های مربوطه می‌توان این داده‌ها را به عنوان داده پرت حذف کرد).



نمودار ۵: هیستوگرام مدت زمان عمل‌های پیچیده (واحد: دقیقه)



نمودار ۶: $q-q$ مدت زمان عمل‌های پیچیده (واحد: دقیقه)

با استفاده از روش MLE میانگین این توزیع ۲۴۲.۰۳ دقیقه و واریانس آن ۶۳.۲۷ است. در نهایت آزمون فراوانی مربع کای را برای این توزیع تکرار می‌کنیم.

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال با پارامترهای مذکور منطبق است: H_0 :

متغیر تصادفی بر توزیع نرمال منطبق نیست: H_1 :

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

آماره:

مقدار آماره آزمون برابر با ۱۶.۰۷ و مقدار بحرانی با سطح معنی‌داری ۵ درصدی، برابر با ۲۱.۰۳ خواهد بود. بنابراین شواهد کافی برای رد فرض تطابق داده‌ها با توزیع نرمال مذکور وجود ندارد. بنابراین:

$$D_3 \sim N(242.03^{min}, 63.27)$$