

به نام خدا



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی صنایع

عنوان:

شبیه سازی گسسته-پیشامد یک درمانگاه (فاز دوم)

استاد:

دکتر نفیسه صدقی

نویسندگان:

محمد رضا بحری

محمد صادق سلیم مرادی

پاییز ۱۴۰۰

فهرست مطالب

۱.....	صورت مسئله	۱
۲.....	بخش اول: توصیف ایستا	۲
۲.....	۱-۱ نهادها	۲
۲.....	۲-۱ ویژگی‌ها	۲
۲.....	۳-۱ متغیرهای حالت	۲
۳.....	۴-۱ پیشامدها و اعلان پیشامدها	۳
۳.....	۵-۱ فعالیت‌ها	۳
۳.....	۶-۱ تاخیرها	۳
۳.....	۷-۱ لیست (مجموعه)	۳
۴.....	۸-۱ آماره‌های تجمعی	۴
۴.....	بخش دوم: فرض‌ها و ساده‌سازی‌های انجام گرفته در ساخت مدل	۴
۵.....	بخش سوم: معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم	۵
۵.....	۱-۳ معیارهای مورد نظر گروه پروژه	۵
۶.....	۲-۳ معیارهای مورد نظر مدیریت درمانگاه	۶
۸.....	بخش چهارم: توصیف پویا	۸
۱۱.....	بخش پنجم: ساختار بندی لیست پیشامدهای آتی	۱۱
۱۲.....	بخش ششم: تحلیل خروجی‌ها	۱۲
۱۲.....	۱-۶ برآورد نقطه‌ای و فاصله اطمینان	۱۲
۱۴.....	۲-۶ تحلیل حساسیت	۱۴

فهرست نمودارها و جداول

۶.....	نمودار جریان ۱ پیشامد ورود بیمار.....
۷.....	نمودار جریان ۲ پیشامد اتمام خدمت گیری بیمار.....
۸.....	نمودار جریان ۳ پیشامد زنگ استراحت پزشک.....
۹.....	نمودار جریان ۴ پیشامد شروع استراحت تعویق افتاده پزشک.....
۱۰.....	نمودار جریان ۵ پیشامد پایان استراحت پزشک.....
۱۲.....	جدول ۱- برآورد نقطه‌ای.....
۱۳.....	جدول ۲- برآورد فاصله‌ای.....
۱۴.....	نمودار ۱- تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۱).....
۱۵.....	نمودار ۲- تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۲).....
۱۶.....	نمودار ۳- تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۳).....
۱۶.....	نمودار ۴- تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۱).....
۱۷.....	نمودار ۵- تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۲).....
۱۸.....	نمودار ۶- تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۳).....

صورت مسئله

کار معاینه و مداوا در یک درمانگاه به وسیله‌ی دو پزشک انجام می‌شود. زمان بین دو ورود متوالی بیماران از توزیع نمایی با میانگین ۲۱ دقیقه تبعیت می‌کند. این بیماران در بدو ورود به درمانگاه یا عادی محسوب می‌شوند یا اضطراری. بیمار اضطراری در بدو ورود از اولویت ۳ (بالاترین اولویت) برخوردار است. این نوع بیمار پس از آنکه از یک پزشک طبق توزیع مثلی با پارامترهای ۲۲ و ۴۰ و ۶۲ خدمت گرفت اولویت متوسط یعنی ۲ را می‌گیرد تا با آزاد شدن یک نفر از دو پزشک، و با رعایت نوبت در میان بیماران برخوردار از اولویت ۲، بقیه خدمت خود را در مدت زمانی که توزیع مثلی با پارامترهای ۱۰ و ۱۲ و ۱۴ دقیقه دارد دریافت کرده و از سیستم خارج شود. ۴۰ درصد از بیماران، اضطراری محسوب می‌شوند. دو پزشک طی ۸ ساعت اول روز کار می‌کنند و در پایان ۸ ساعت اول جای خود را به دو پزشک دیگر می‌دهند و این دو نیز در پایان ۸ ساعت دوم جای خود را به دو پزشک دیگر خواهند داد تا درمانگاه را به صورت ۷/۲۴ فعال نگه دارند. ۵ ساعت بعد از شروع هر شیفت کاری ۸ ساعته یک نفر از دو پزشک ۱۰ دقیقه استراحت می‌کند، مشروط براینکه راس این ساعت هر دو پزشک مشغول خدمت‌دهی نباشند. اگر چنین نبود به محض اینکه یکی از پزشکان خدمت‌دهی را به پایان رساند، وقت استراحت ۱۰ دقیقه‌ای خود را آغاز می‌کند. درست یک ساعت پس از اتمام استراحت اول، مجدداً یکی از پزشکان به صورت تصادفی و مشابه حالت قبل، ۱۰ دقیقه استراحت خواهد کرد.

بیماران عادی در بدو ورود پایین‌ترین اولویت، یعنی ۱ را دارند. خدمت‌دهی به این بیماران تنها وقتی آغاز می‌شود که بیماری با اولویت بیشتر از ۱ در انتظار دریافت خدمت نباشد. این بیماران قسمت ابتدایی خدمت خود را در $3 + 40X$ دقیقه دریافت می‌کنند. متغیر تصادفی X در اینجا از توزیع بتا با پارامترهای $\alpha = 3$ و $\beta = 3$ پیروی می‌کند. بیماران با اولویت ۱ بلافاصله پس از دریافت قسمت اول خدمت خود، از اولویت متوسط، یعنی ۲ برخوردار می‌شوند، تا با رعایت نوبت و با آزاد شدن یک پزشک بقیه خدمت را طبق توزیع یکنواخت در بازه ۸ و ۱۲ دقیقه دریافت کرده و سیستم را ترک کنند.

برای سادگی می‌توانید فرض کنید که پزشک‌های جدید پس از تعویض شیفت، کار پزشک‌های قبلی را ادامه می‌دهند؛ یعنی اگر خدمت‌دهی به بیماری ۱۰ دقیقه طول بکشد، و پزشک اول ۳ دقیقه از آن را انجام داده باشد و نوبت تعویض شیفت فرا برسد، پزشک جدید ۷ دقیقه‌ی باقی‌مانده از خدمت‌دهی به آن بیمار را انجام خواهد داد.

بخش اول: توصیف ایستا

۱-۱ نهادها

✓ P_i : بیانگر i امین بیمار که برای خدمت گرفتن وارد درمانگاه می‌شود.

۲-۱ ویژگی‌ها

✓ لحظه ورود بیمار P_i به درمانگاه به عنوان یک ویژگی برای بیمار فوق در نظر گرفته می‌شود.

✓ نوع بیمار P_i از منظر اضطراری یا عادی بودن در بدو ورود به درمانگاه به عنوان ویژگی بیمار فوق در نظر گرفته می‌شود.

✓ بیمار P_i تا به حال، چند بار توسط پزشکان درمانگاه خدمت دریافت کرده است نیز به عنوان ویژگی‌ای برای بیمار فوق در نظر گرفته می‌شود.

✓ لحظه‌ای از زمان که بیمار P_i برای دفعه‌ی اول شروع به دریافت خدمت‌گیری از پزشک می‌کند، به عنوان ویژگی‌ای برای بیمار در نظر گرفته می‌شود.

✓ لحظه‌ای از زمان که بیمار P_i برای دفعه‌ی اول به طور کامل از پزشک خدمت دریافت می‌کند، به عنوان ویژگی‌ای برای بیمار در نظر گرفته می‌شود.

✓ لحظه‌ای از زمان که بیمار P_i برای دفعه‌ی دوم شروع به دریافت خدمت‌گیری از پزشک می‌کند، به عنوان ویژگی‌ای برای بیمار در نظر گرفته می‌شود.

✓ لحظه‌ای از زمان که بیمار P_i برای دفعه‌ی دوم به طور کامل از پزشک خدمت دریافت می‌کند، به عنوان ویژگی‌ای برای بیمار در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱ متغیرهای حالت

✓ $NR(t)$: تعداد پزشک مشغول استراحت در لحظه t که می‌تواند مقادیر ۰ یا ۱ را بگیرد.

✓ $NS(t)$: تعداد پزشک مشغول خدمت‌رسانی به بیماران در لحظه t که می‌تواند مقادیر ۰، ۱ یا ۲ را اختیار کند.

✓ $Q_3(t)$: تعداد بیمار اضطراری معطل در صف دارای اولویت ۳ در لحظه t

✓ $Q_2(t)$: تعداد بیمار معطل برای دریافت خدمت برای بار دوم در صف دارای اولویت ۲ در لحظه t

✓ $Q_1(t)$: تعداد بیمار عادی معطل در صف دارای اولویت ۱ در لحظه t

✓ $TR(t)$: یک لیست که تا لحظه t زمان‌های شروع استراحت پزشکان را در یک شیفت مشخص نگه می‌دارد.

۴-۱ پیشامدها و اعلان پیشامدها

- ✓ پیشامد ورود بیماران به درمانگاه در لحظه t : (P_i, A, t)
- ✓ پیشامد اتمام خدمت‌گیری بیمار از پزشک در لحظه t : (P_i, D, t)
- ✓ پیشامد زنگ استراحت در درمانگاه در یک شیفت مشخص در لحظه t : (RP, t)
- ✓ پیشامد اتمام استراحت پزشک در لحظه t : (EOR, t)
- ✓ پیشامد شروع استراحت به تعویق افتاده پزشک در لحظه t : (SOR, t)
- ✓ پیشامد اتمام شبیه‌سازی در لحظه t : (E, t)

۵-۱ فعالیت‌ها

- ✓ s^*_1 : فاصله زمانی خدمت‌گیری بیمار نوع عادی در اولین دفعه خدمت‌گیری از پزشک
 - ✓ s^*_{12} : فاصله زمانی خدمت‌گیری بیمار نوع عادی در دومین دفعه خدمت‌گیری از پزشک
 - ✓ s^*_2 : فاصله زمانی خدمت‌گیری بیمار نوع اضطراری در اولین دفعه خدمت‌گیری از پزشک
 - ✓ s^*_{22} : فاصله زمانی خدمت‌گیری بیمار نوع اضطراری در دومین دفعه خدمت‌گیری از پزشک
- پزشک
- ✓ a^* : فاصله زمانی بین ورود متوالی بیماران به درمانگاه
 - ✓ ۱۰ دقیقه: فاصله زمانی استراحت پزشک
 - ✓ ۴۸۰ دقیقه معادل ۸ ساعت: فاصله زمانی بین زنگ استراحت‌های اول هر شیفت

۶-۱ تاخیرها

- ✓ فاصله زمانی معطلی هر یک از بیماران در صف دارای اولویت ۱
- ✓ فاصله زمانی معطلی هر یک از بیماران در صف دارای اولویت ۲
- ✓ فاصله زمانی معطلی هر یک از بیماران در صف دارای اولویت ۳
- ✓ فاصله زمانی بین دو زنگ استراحت در یک شیفت مشخص (اولین زنگ استراحت که زده شود بسته به پیشامدهای رخ داده دیگر، فاصله زمانی تا زنگ استراحت دوم در همان شیفت، مشخص نخواهد بود)

۷-۱ لیست (مجموعه)

- ✓ بیماران حاضر در صف دارای اولویت ۱ تا لحظه t که به صورت زمانی مرتب شده است.
- ✓ بیماران حاضر در صف دارای اولویت ۲ تا لحظه t که به صورت زمانی مرتب شده است.

✓ بیماران حاضر در صف دارای اولویت ۳ تا لحظه t که به صورت زمانی مرتب شده است.

۸-۱ آماره‌های تجمعی

با توجه به مدل‌سازی انجام گرفته، برای محاسبه‌ی معیارهای کلیدی عملکرد مورد نظر مدیریت، نیازی به استفاده از آماره‌های تجمعی نیست.

بخش دوم: فرض‌ها و ساده‌سازی‌های انجام گرفته در ساخت مدل

- در این مدل فرض شده‌است که اگر زمان شروع استراحت برای پزشک در شیفت بعدی قرار بگیرد و تا پایان شیفت فعلی فرا نرسد، پزشک کلاً به استراحت نمی‌رود.
- اگر زمان پایان استراحت یک پزشک بعد از پایان شیفتش قرار بگیرد، استراحت با پایان شیفت تمام می‌شود و روی پزشک شیفت بعد اثری ندارد.
- اندازه‌گیری زمان با واحد «دقیقه» انجام می‌شود.
- زمان لازم برای تعویض شیفت و جایگزینی پزشکان قابل اغماض است.
- پزشک‌های جدید پس از تعویض شیفت، کار پزشک‌های قبلی را ادامه می‌دهند.
- غیر از پیشامد شروع استراحت به تعویق افتاده پزشک که به پیشامد اتمام خدمت‌گیری از پزشک از منظر اینکه تشکیل فعالیت با طول صفر می‌دهند وابسته است، فرض شده احتمال همزمان رخ دادن مابقی پیشامدها صفر می‌باشد.
- همان‌طور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، هر پیشامدی از نوع شروع استراحت به تعویق افتاده پزشک حتماً مقارن با یکی از پیشامدهای از نوع اتمام خدمت‌گیری از پزشک خواهد بود که ترتیب اجرا در فهرست پیشامدهای آتی به صورت اتمام خدمت‌گیری و سپس شروع استراحت به تعویق افتاده خواهد بود.

بخش سوم: معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

۱-۳ معیارهای مورد نظر گروه پروژه

- مدت زمان مشغول بودن پزشک‌ها

این شاخص با تقسیم مدت زمانی که پزشکان مشغول خدمت‌دهی هستند، به مجموع مدت زمان شیفت کاری دو پزشک، یعنی ۱۶ ساعت به دست می‌آید. البته محاسبه فوق برای هر شیفت هست و میتوان تجمیعی عمل نمود و با توجه به زمان انتهای شبیه سازی، مجموع زمان تجمیعی که هر دو مشغول مشغول خدمت‌دهی بودند بر ۲ تقسیم نمود و سپس بر کل مدت زمان شبیه سازی تقسیم نمود.

- میانگین زمان ماندن در سیستم

زمان ماندن در سیستم یعنی زمان ورود به سیستم تا خروج از آن که می‌تواند شامل گرفتن خدمت یا انتظار در صف باشد. برای هر بیمار زمان ورود به سیستم مشخص است و اختلاف زمان خروج از زمان ورود، این شاخص را برای هر بیمار به ما می‌دهد و از آنها میانگین می‌گیریم.

- بیشترین طول صف بیماران اضطراری

در هر لحظه طول صف اضطراری (Q^3) را داریم. بیشینه این متغیر حالت، این شاخص را به ما می‌دهد. مهم است که طول این صف زیاد نشود.

- میانگین زمان انتظار در صف

برای هر بیمار، ممکن است بین زمان ورود به سیستم تا شروع گرفتن خدمت فاصله‌ای باشد که در واقع همان زمانی بوده که در صف انتظار سپری کرده است. میانگین این زمان‌ها این شاخص را به ما می‌دهد. البته می‌توان این شاخص را برای هر صف نیز به صورت جداگانه محاسبه نمود و ارزیابی بهتری از سیستم از منظر اولویت بیماران داشت. در واقع با مفهوم بیان شده، سه شاخص ارزیابی عملکرد سیستم می‌توان استخراج نمود.

- میانگین زمان انتظار در صف برای بیماران اضطراری

مانند شاخص قبلی، اما به طور خاص برای بیماران اضطراری اندازه‌گیری می‌شود، زیرا برای ما مهم است که انتظار این بیماران در صف کمینه باشد.

۳-۲ معیارهای مورد نظر مدیریت درمانگاه

- **میانگین مدت زمان ماندن بیماران وارد شده با اولویت ۱ در سیستم**
برای محاسبه معیار فوق، ابتدا برای هر تکرار^۱، مجموعه‌ی تمامی بیماران عادی‌ای که در طول مدت شبیه‌سازی سیستم درمانگاه (۲۰ روز) وارد درمانگاه شده و همچنین خارج شده‌اند در نظر گرفته می‌شود؛ سپس روی تمامی اعضای مجموعه، آماره‌ی حاصل از تفریق زمان لحظه ورود به سیستم درمانگاه از زمان لحظه اتمام خدمت‌گیری از پزشک برای هر عضو حساب شده و مجموع گرفته می‌شود؛ در انتها جمع حاصل بر اندازه‌ی مجموعه‌ی مذکور تقسیم می‌گردد؛ با اجرای اقدامات یاد شده، ۱۰۰ عدد حاصل می‌شود که میانگین آن‌ها نمایانگر برآورد نقطه‌ای برای میانگین مدت زمان ماندن بیماران وارد شده با اولویت ۱ در سیستم درمانگاه خواهد بود.
- **درصد بیماران دارای اولویت ۳ که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند.**
برای محاسبه معیار فوق، ابتدا برای هر تکرار، مجموعه‌ی تمامی بیماران اضطراری‌ای که در طول مدت شبیه‌سازی سیستم درمانگاه (۲۰ روز) وارد درمانگاه شده‌اند در نظر گرفته می‌شود؛ سپس زیر مجموعه‌ای از مجموعه‌ی کذا با شرط برابری زمان لحظه ورود به سیستم و زمان لحظه شروع دریافت خدمت‌گیری از پزشک برای دفعه اول تشکیل داده می‌شود؛ در انتها، اندازه‌ی مجموعه‌ی ثانی بر اندازه‌ی مجموعه‌ی اولی تقسیم می‌گردد؛ با اجرای اقدامات یاد شده، ۱۰۰ عدد حاصل می‌شود که میانگین آن‌ها نمایانگر برآورد نقطه‌ای برای درصد بیماران دارای اولویت ۳ که هیچ‌گاه در انتظار نمی‌مانند، خواهد بود.
- **میانگین مدت ماندن بیماران نوع ۲ در سیستم**
برای محاسبه معیار فوق، برای هر تکرار، از آنجایی که تمامی بیماران وارد شده به سیستم (صرف نظر از نوع اضطراری یا عادی) در نهایت پس از دریافت خدمت از پزشک برای دفعه اول، به بیمارانی با اولویت ۲ تبدیل می‌شوند، بنابراین مجموعه‌ی تمامی بیماران وارد شده به سیستم درمانگاه در طول مدت شبیه‌سازی (۲۰ روز) که البته خدمت خود را نیز تا قبل از وقوع پیشامد اتمام شبیه‌سازی دریافت کرده‌اند، در نظر گرفته می‌شود؛ سپس روی تمامی اعضای مجموعه فوق آماره‌ی تفریق لحظه‌ی اتمام دریافت خدمت از پزشک برای دفعه اول از زمان لحظه اتمام دریافت خدمت از پزشک برای دفعه دوم به ازای هر عضو جمع زده می‌شود و در انتها مجموع حاصل بر اندازه‌ی مجموعه‌ی یاد شده تقسیم می‌گردد. با اجرای اقدامات یاد شده، ۱۰۰ عدد حاصل می‌شود که میانگین آن‌ها نمایانگر برآورد نقطه‌ای برای میانگین مدت ماندن بیماران نوع ۲ در سیستم درمانگاه خواهد بود.

^۱Replication

- **ماکسیمم و میانگین طول صف بیماران نوع ۱، ۲ و ۳ به تفکیک**

برای محاسبه ماکسیمم طول صف بیماران نوع ۱، بایستی برای هر تکرار، ماکسیمم متغیر حالت $Q_1(t)$ به ازای زمان‌های مختلف محاسبه گردد؛ سپس ۱۰۰ عدد خواهیم داشت که با محاسبه ماکسیمم آنان، ماکسیمم طول صف بیماران نوع ۱ در سیستم درمانگاه برآورد نقطه‌ای می‌شود. برای محاسبه میانگین طول صف بیماران نوع ۱ نیز بایستی برای هر تکرار میانگین وزنی متغیر حالت $Q_1(t)$ با در نظر گرفتن مدت زمان قرار گیری سیستم درمانگاه در یک سطح مشخص از متغیر حالت مذکور به عنوان ضرایب وزنی محاسبه گردد. سپس ۱۰۰ عدد برای هر تکرار حاصل می‌شود که با محاسبه میانگین آنان، میانگین طول صف بیماران نوع ۱ در سیستم درمانگاه برآورد نقطه‌ای می‌گردد. برای بیماران نوع ۲ و ۳ محاسبات معیارهای مربوطه مشابه صورت خواهد پذیرفت.

- **میانگین بهره‌وری پزشکان**

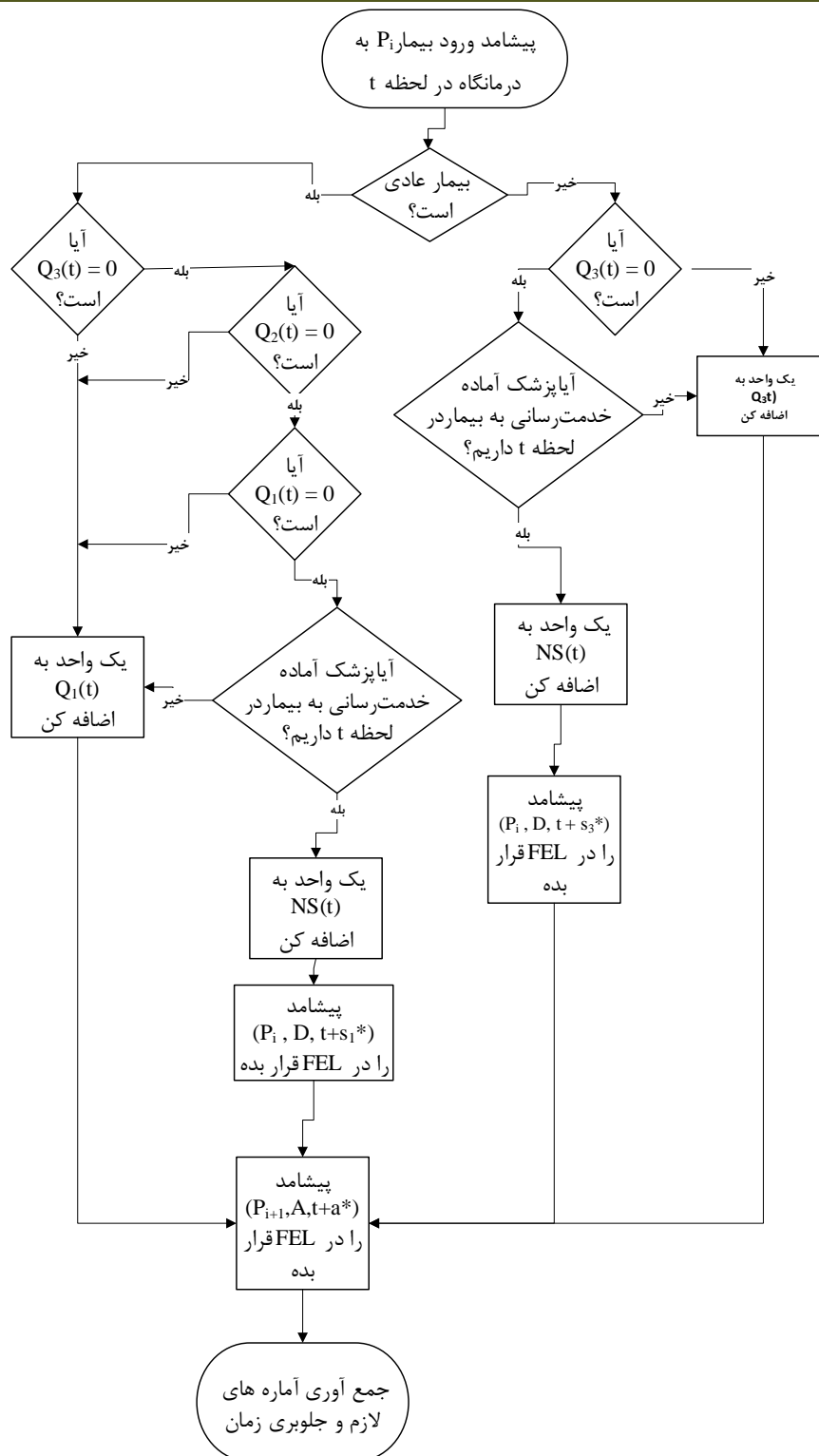
برای محاسبه شاخص فوق، ابتدا برای هر تکرار، مساحت زیر منحنی $Ns(t)$ محاسبه می‌گردد؛ سپس مساحت فوق بر عدد $2 * 20 * 24 * 60$ تقسیم می‌شود. با انجام محاسبات فوق برای هر تکرار، ۱۰۰ عدد به دست خواهد آمد که با میانگین گیری از آن‌ها، برآورد نقطه‌ای برای میانگین بهره‌وری پزشکان حاصل می‌شود.

- **میانگین مدت زمانی که بیماران اضطراری در بدو ورود در صف معطل می‌مانند^۲**

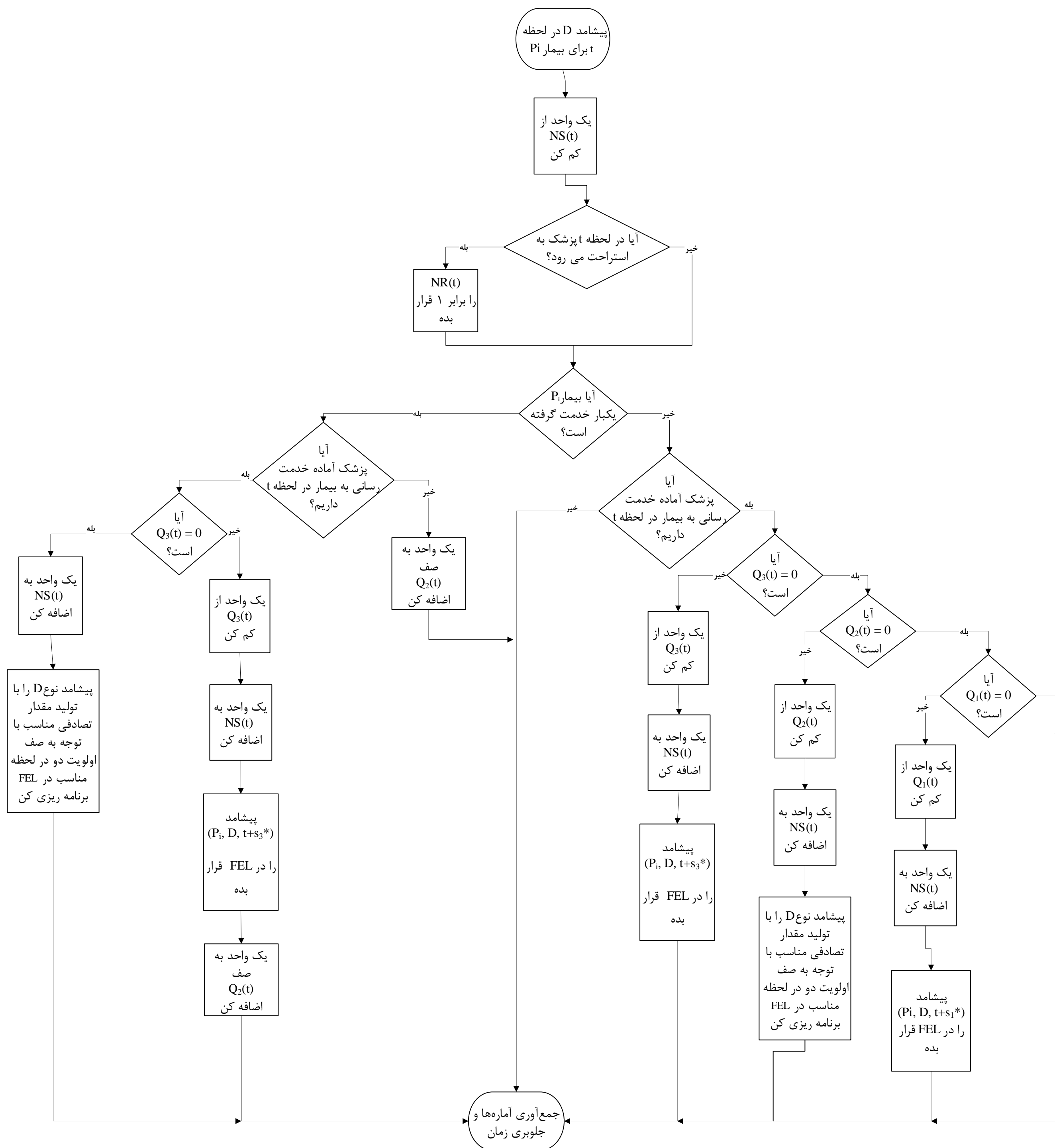
برای محاسبه معیار فوق، ابتدا برای هر تکرار، مجموعه‌ی تمامی بیماران اضطراری‌ای که در طول مدت شبیه‌سازی سیستم درمانگاه (۲۰ روز) وارد درمانگاه شده و همچنین از صف دارای اولویت ۳ خارج شده‌اند در نظر گرفته می‌شود؛ سپس روی تمامی اعضای مجموعه، آماره‌ی حاصل از تفریق زمان لحظه ورود به سیستم درمانگاه از زمان لحظه شروع خدمت‌گیری از پزشک برای دفعه‌ی اول برای هر عضو حساب شده و مجموع گرفته می‌شود؛ در انتها جمع حاصل بر اندازه‌ی مجموعه‌ی مذکور تقسیم می‌گردد؛ با اجرای اقدامات یاد شده، ۱۰۰ عدد حاصل می‌شود که میانگین آن‌ها نمایانگر برآورد نقطه‌ای برای میانگین مدت زمان ماندن در صف برای بیماران وارد شده با اولویت ۱ در سیستم درمانگاه خواهد بود.

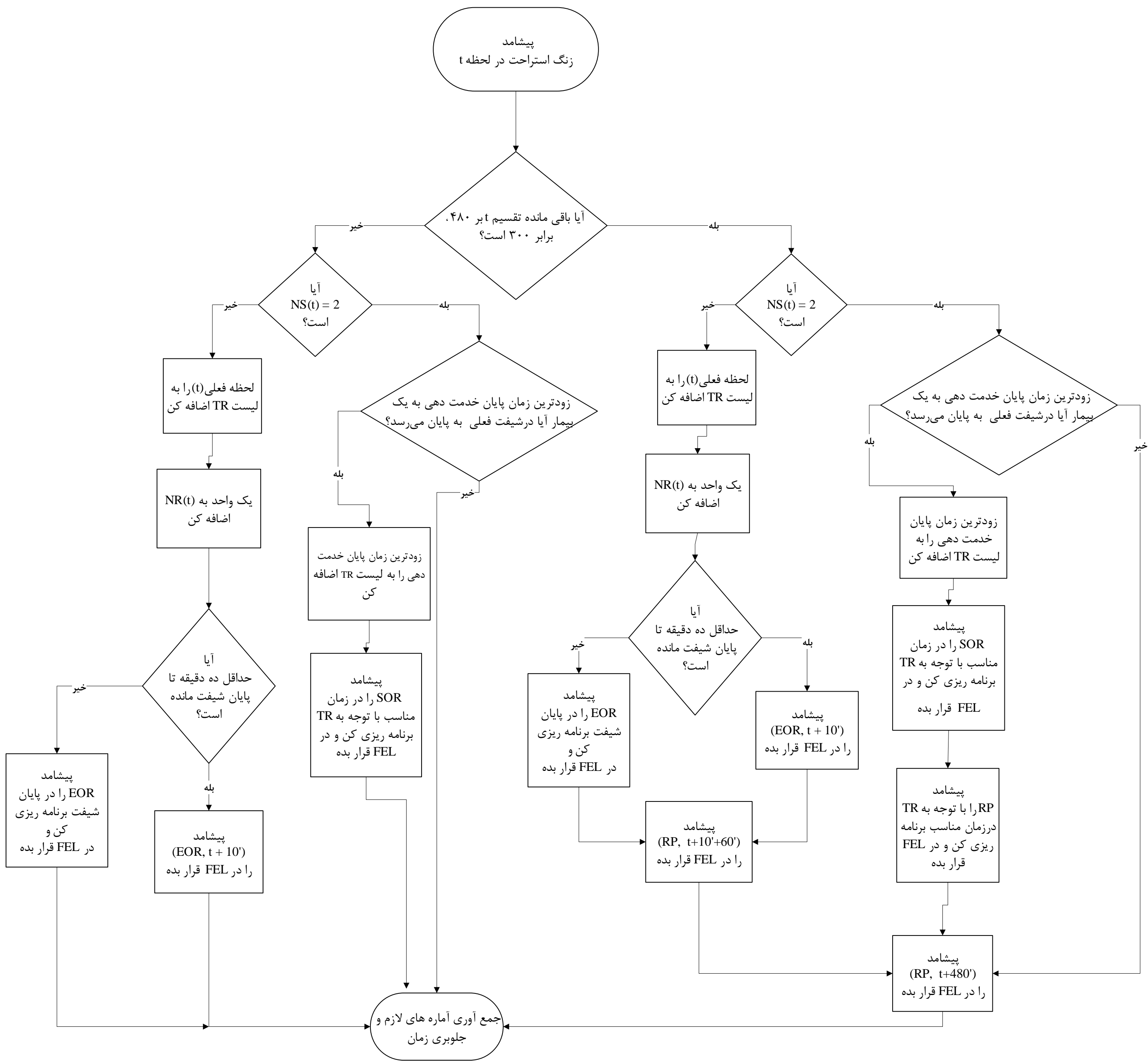
^۲ خروجی دلخواه واگذار شده به نویسندگان

بخش چهارم: توصیف پویا

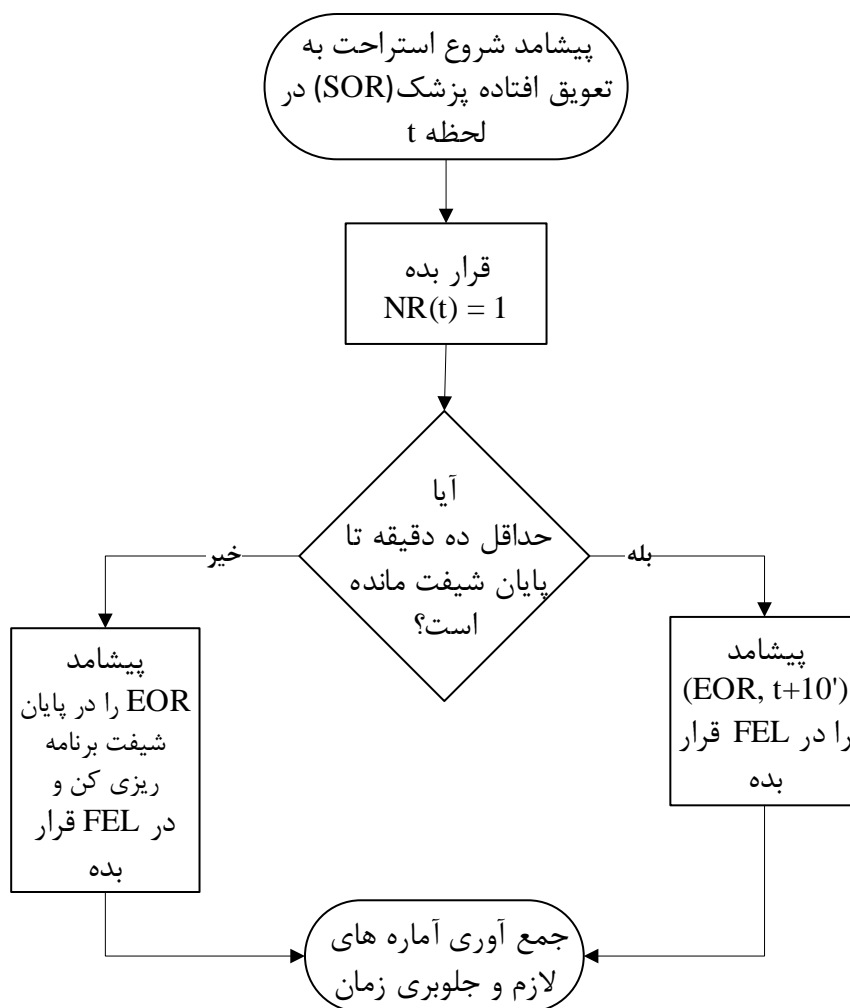


نمودار جریان ۱ پیشامد ورود بیمار

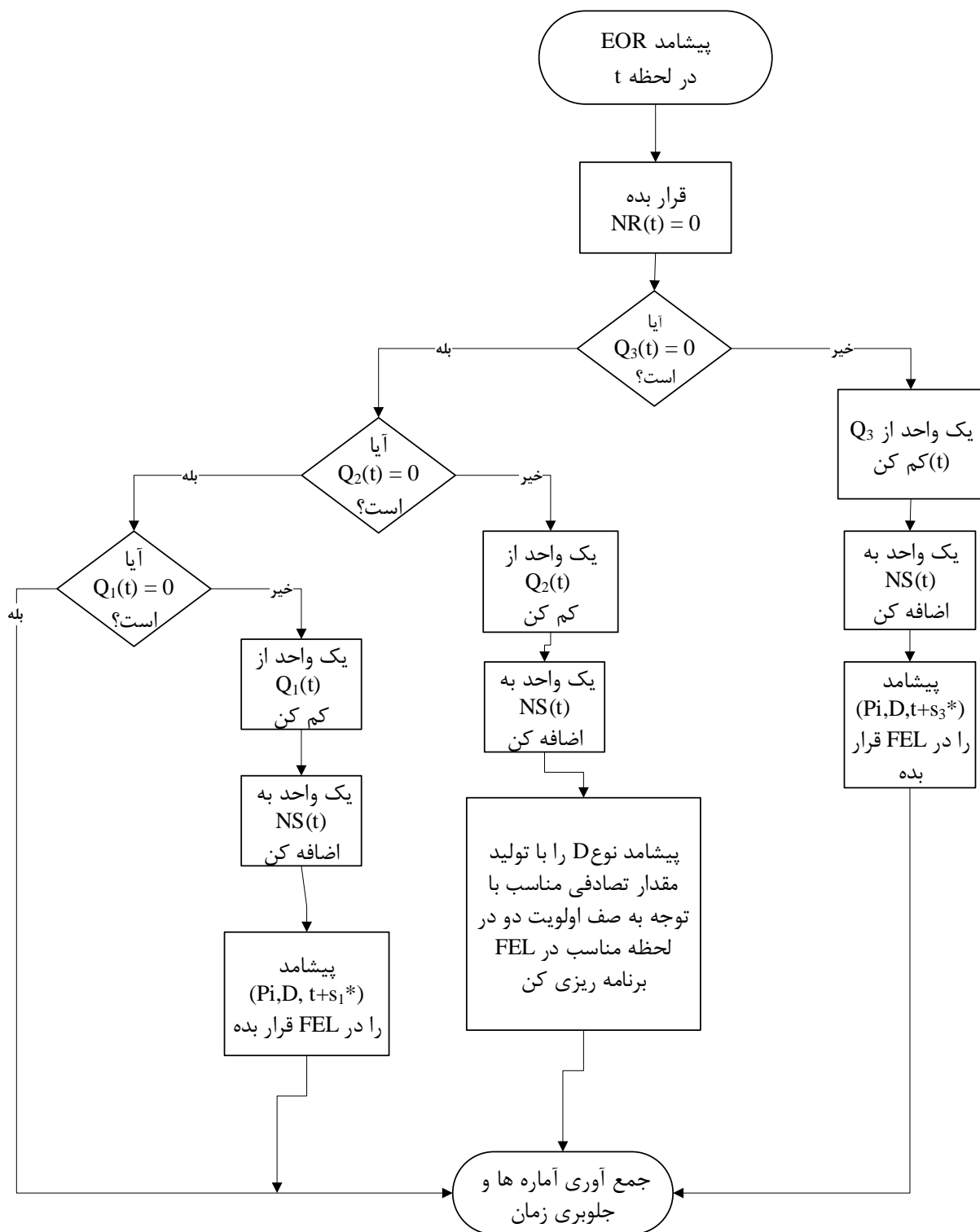




نمودار جریان ۳ پیشامد زنگ استراحت پزشک



نمودار جریان ۴ پیشامد شروع استراحت به تعویق افتاده پزشک



نمودار جریان ۵ پیشامد پایان استراحت پزشک

بخش پنجم: ساختاربندی لیست پیشامدهای آتی

اعلان پیشامدهای نوشته شده در بخش «پیشامدها و اعلان پیشامدها»، ساختار لیست پیشامدهای آتی را تشکیل خواهند داد. برای شروع شبیه‌سازی، اعلان‌های زیر را در لیست پیشامدهای آتی قرار می‌دهیم:

- ✓ پیشامد ورود اولین بیمار به درمانگاه در لحظه صفر: $(P_1, A, 0)$
- ✓ پیشامد اتمام شبیه‌سازی در لحظه t : (E, t)
- ✓ پیشامد زنگ استراحت در درمانگاه در شیفت اول در لحظه ۳۰۰: $(RP, 300)$

بخش ششم: تحلیل خروجی‌ها

۱-۶ برآورد نقطه‌ای و فاصله اطمینان

- با توجه به منقطع بودن سیستم (بنا به خواسته‌ی مدیریت و دنبال کردن سیستم تنها در مدت ۲۰ روز) برآورد نقطه‌ای حاصل از ۱۰۰ تکرار شبیه‌سازی برای معیارهای عملکرد موردنظر مدیریت به شرح زیر است:

ردیف	معیار ارزیابی عملکرد	برآوردگر نقطه‌ای
۱	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۱ در سیستم می‌مانند	۱۵۱.۹۸
۲	درصد بیماران دارای اولویت ۳ که هرگز در صف نمی‌مانند.	۰.۲۱
۳	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۲ در سیستم می‌مانند	۲۵.۰۲
۴	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۳ در صف می‌مانند	۸.۵۸
۵	ماکسیمم طول صف دارای اولویت ۳	۶.۰۰
۶	میانگین طول صف دارای اولویت ۳	۰.۱۶
۷	ماکسیمم طول صف دارای اولویت ۲	۲۵.۰۰
۸	میانگین طول صف دارای اولویت ۲	۰.۶۸
۹	ماکسیمم طول صف دارای اولویت ۱	۵۲.۰۰
۱۰	میانگین طول صف دارای اولویت ۱	۰.۶۸
۱۱	ضریب بهره‌وری پزشکان	۰.۸۳
۱۲	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۳ در صف می‌مانند	۸.۵۸

جدول ۱- برآورد نقطه‌ای

- برآورد فاصله‌ای برای ۳ معیار انتخابی با استفاده از ۱۰ تکرار شبیه‌سازی^۳ به شرح زیر است:

ردیف	معیار ارزیابی عملکرد	برآوردگر نقطه‌ای	انحراف استاندارد	نیم فاصله اطمینان	حد پایین برآورد فاصله‌ای	حد بالای برآورد فاصله‌ای
۱	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۱ در سیستم می‌مانند	۱۵۱.۹۸	۴۹.۶۳	۹.۸۵	۱۴۲.۱۴	۱۶۱.۸۳
۲	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۲ در سیستم می‌مانند	۲۵.۰۲	۳.۳۱	۰.۶۶	۲۴.۳۶	۲۵.۶۷
۳	میانگین مدت زمانی که بیماران با اولویت ۳ در صف می‌مانند	۸.۵۸	۱.۰۲	۰.۲۰	۸.۳۷	۸.۷۸

جدول ۲- برآورد فاصله‌ای

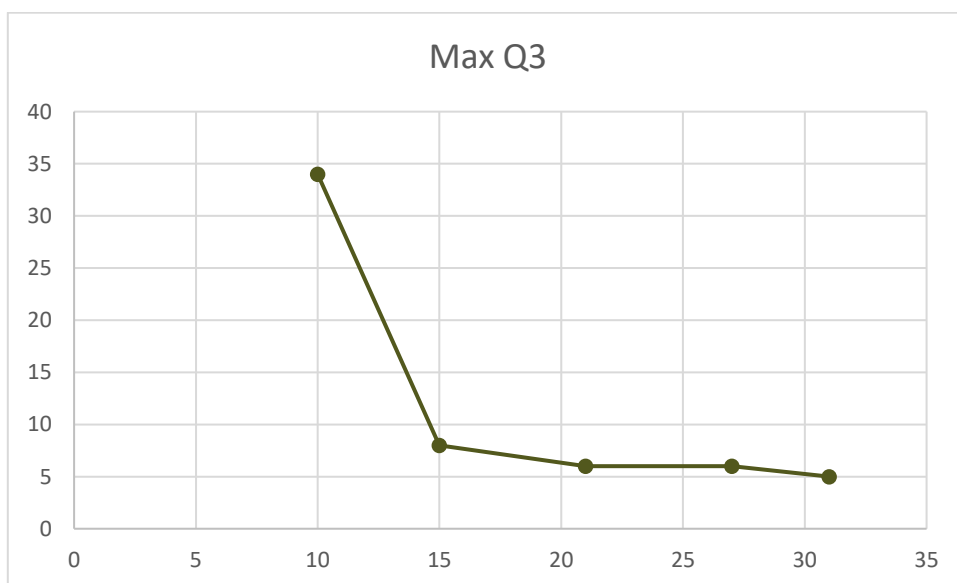
^۳ $\alpha = 0.05$

۲-۶ تحلیل حساسیت

از آنجایی که پارامترها به مثابه‌ی خوراکی به مدل خورانده می‌شوند بنابراین می‌توان انتظار داشت خروجی مدل به آن‌ها وابسته باشد. هرچه این وابستگی بیشتر باشد می‌توان نتیجه گرفت برای مدل‌های آماری در نظر گرفته شده برای توزیع فعالیت‌ها یا سیاست‌های اعمالی بایستی دقت بیشتری به خرج داد. همچنین از تحلیل حساسیت می‌توان برای اعتبارسنجی مدل نیز بهره برد و نتایج آن را با شهود خود مقایسه کرد. براین اساس، در یک تکرار شبیه‌سازی برای معیارهای کلیدی عملکرد نسبت به پارامترهای توزیع‌های مدل‌های آماری مفروض در فعالیت‌ها و همچنین سیاست‌های اعمالی توسط مدیریت درمانگاه تحلیل حساسیت صورت گرفت که اهم آن به شرح زیر است:

• تغییر میانگین زمان بین ورود متوالی بیماران

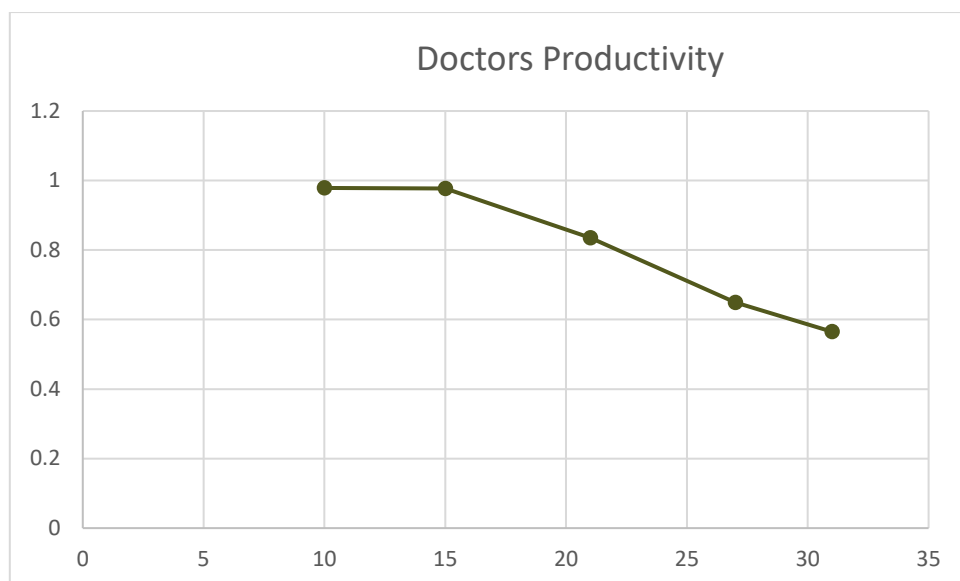
❖ معیار ماکسیمم طول صف بیماران دارای اولویت ۳: حساسیت شاخص فوق نسبت به پارامتر میانگین توزیع نمایی در نظر گرفته‌شده در فاز مدل‌سازی داده‌های ورودی، برای زیر ۱۵ دقیقه بسیار بالاست. همچنین با افزایش پارامتر میانگین به دلیل این که انتظار می‌رود تعداد کمتری بیمار به درمانگاه مراجعه کنند بنابراین نزولی بودن نمودار قابل توجیه است.



نمودار ۱- تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۱)

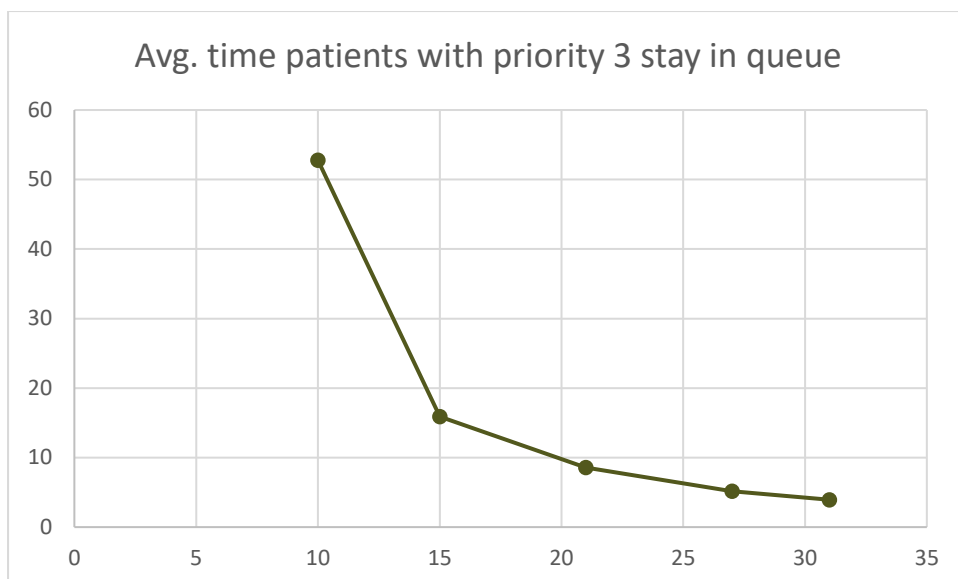
❖ معیار ضریب بهره‌وری پزشکان: حساسیت شاخص فوق نسبت به پارامتر میانگین توزیع نمایی در نظر گرفته‌شده در فاز مدل‌سازی داده‌های ورودی، متوسط ارزیابی می‌شود. همچنین با

افزایش آن به دلیل اینکه انتظار می‌رود تعداد کمتری بیمار به درمانگاه مراجعه کنند لذا نزولی بودن نمودار قابل توجه است.



نمودار ۲- تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۲)

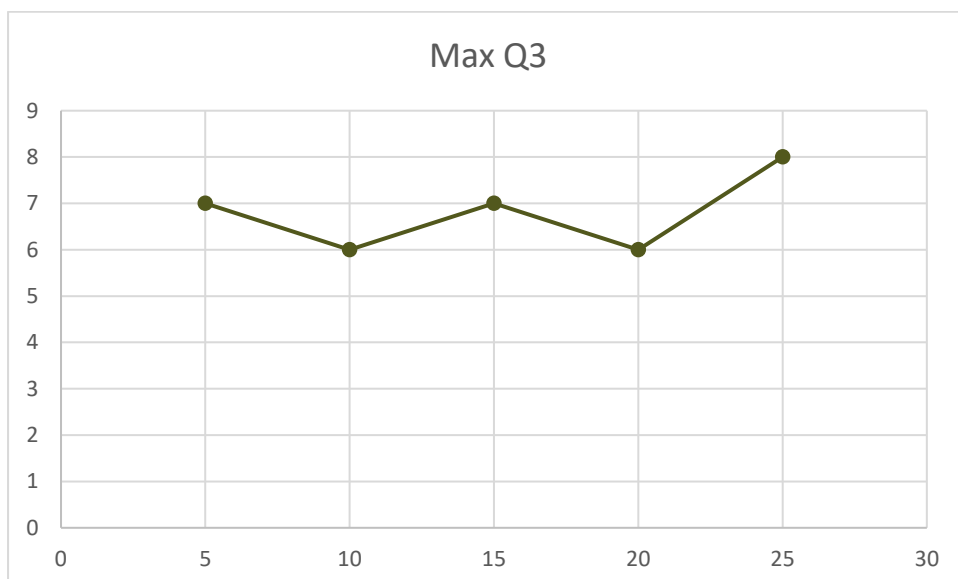
❖ معیار میانگین مدت زمانی که بیماران دارای اولویت ۳ در صف می‌مانند: حساسیت شاخص
فوق نسبت به پارامتر میانگین توزیع نمایی در نظر گرفته شده در فاز مدل سازی داده‌های ورودی، برای زیر ۱۵ دقیقه بسیار بالا ارزیابی می‌شود. همچنین با افزایش آن به دلیل اینکه انتظار می‌رود تعداد کمتری بیمار به درمانگاه مراجعه کنند لذا نزولی بودن نمودار قابل توجه است.



نمودار ۳ - تحلیل حساسیت نسبت به میانگین توزیع نمایی (۳)

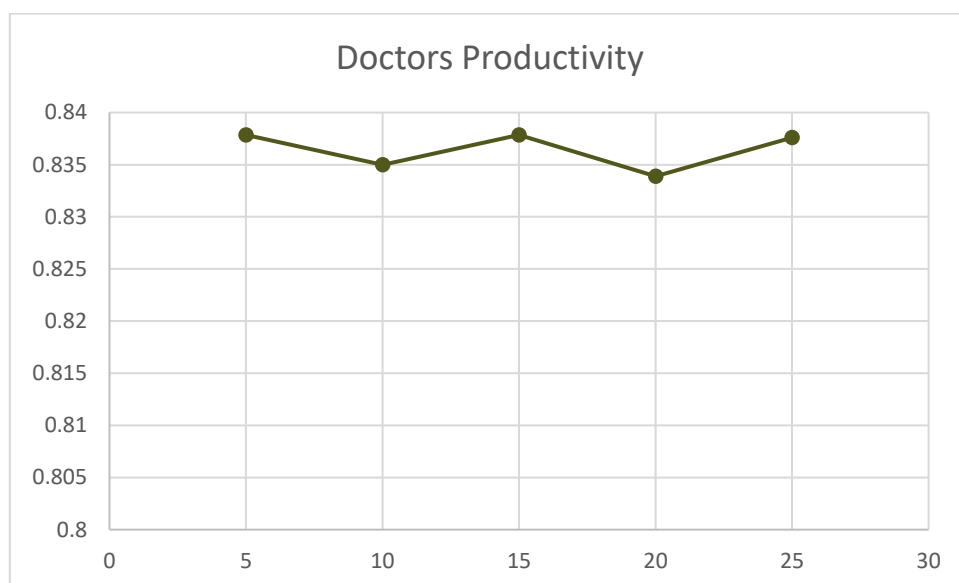
تغییر سیاست اعمالی مدت زمان استراحت پزشکان

❖ معیار ماکسیمم طول صف بیماران دارای اولویت ۳: حساسیت شاخص فوق نسبت به سیاست مدت زمان استراحت پزشکان بسیار کم ارزیابی می‌شود. به صورت کلی می‌توان انتظار داشت که با افزایش مدت زمان استراحت پزشکان، ماکسیمم طول صف بیماران دارای اولویت ۳ افزایش پیدا کند اما از آنجایی که شروع زمان استراحت پزشکان مستلزم برقراری شرایطی است و همچنین امکان نهایتاً دو بار رفتن به استراحت وجود دارد لذا نوسان کم نمودار زیر قابل توجیه است و به اعتبار مدل‌سازی صورت گرفته خدشه‌چندانی وارد نمی‌کند.



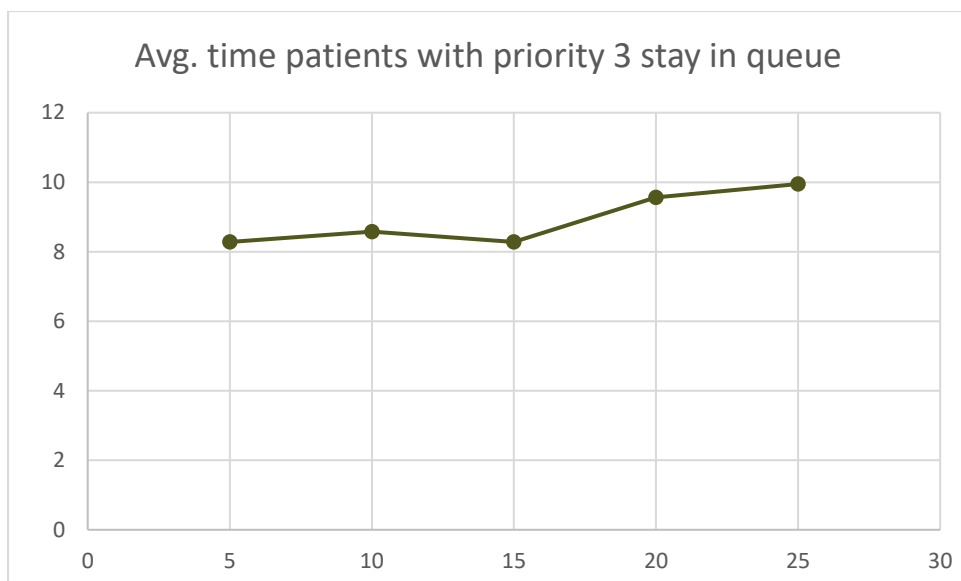
نمودار ۴ - تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۱)

❖ معیار ضریب بهره‌وری پزشکان: حساسیت شاخص فوق نسبت به سیاست مدت زمان استراحت پزشکان بسیار کم ارزیابی می‌شود. به صورت کلی می‌توان انتظار داشت که با افزایش مدت زمان استراحت پزشکان، ضریب بهره‌وری پزشکان کاهش پیدا کند اما از آنجایی که شروع زمان استراحت پزشکان مستلزم برقراری شرایطی است و همچنین تنها امکان نهایتاً دو بار رفتن به استراحت وجود دارد لذا نوسان کم نمودار زیر قابل توجیه است و به اعتبار مدل‌سازی صورت گرفته خدشه چندانی وارد نمی‌کند.



نمودار ۵- تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۲)

❖ معیار میانگین مدت زمانی که بیماران دارای اولویت ۳ در صف می‌مانند: حساسیت شاخص فوق نسبت به سیاست مدت زمان استراحت پزشکان بسیار کم ارزیابی می‌شود. به صورت کلی می‌توان انتظار داشت که با افزایش مدت زمان استراحت پزشکان، معیار فوق افزایش پیدا کند که نمودار زیر نیز به طور کلی موید آن است.



نمودار ۶- تحلیل حساسیت نسبت به مدت زمان استراحت پزشکان (۳)