

**مقدمه:**

شبیه سازی تقلید عمل یک فرایند جهان واقعی است در یک دوره زمانی که ممکن است با دست ی کامپیوتر صورت گیرد (کارخانه -بانک- بیمارستان- پرتاب ماهواره- پرتاب موشک- پمپ بنزین -کارخانه تصفیه آب و ...). ولی در هر دو حالت شبیه سازی در گیر ایجاد یک تاریخ مصنوعی برای سیستم مورد نظر است جهت بررسی رفتار آن سیستم و تاریخ و زمان ایجاد شده به منظور به دست آوردن نتایجی درباره مشخصات عملی سیستم مثل به دست آوردن کارایی و رفع گیرهای احتمالی و یا تست یک فرضیه روی آن سیستم.

**دلایل استفاده از شبیه سازی:**

- ۱) شبیه سازی به ما این تاملکان را می دهد که اثرات مقابل عوامل را درون یک سیستم به طور مجازی مورد مطالعه قرار دهد .
- ۲) از طریق شبیه سازی می توان تاثیر هر نوع تغییر در سیستم مثل تغییرات اطلاعاتی ، تغییرات سازماندهی و محیطی را روی عملکرد یک سیستم مطالعه کنیم.
- ۳) نظارت دقیق بر روی یک سیستم شبیه سازی شده می توان منجر به شناخت و درک بهتر آن سیستم شود به طوری که در سر انجام شبیه سازی به نتایج و پیشنهادات سازنده ای برای بهبود کیفیت آن سیستم رسید.
- ۴) شبیه سازی می تواند به عنوان یک وسیله علمی و فنی برای آموزش دانشجویان و کارآموزان مهارتهای اولیه در خصوص تجزیه و تحلیل تئوری ها آنالیز آماری و علوم تصمیم گیری مورد استفاده قرار گیرد.
- ۵) شبیه سازی می تواند به عنوان تجزیه آزمایشی شرایط و موقعیت های یک سیستم که درباره آنها اطلاعات اندکی داریم به کار رود و برای آنچه که ممکن است اتفاق بیفتد خودمان را آماده کنیم (برای آزمایش فرضیه ها)
- ۶) هزینه شبیه سازی یک سیستم در بیشتر اوقات از هزینه ایجاد عملی آن سیستم بسیار کمتر است.
- ۷) در برخی موارد شبیه سازی تنها وسیله به دست آوردن راه حل مسئله یا جواب یک آزمایش است مثل مواردی که آزمایش عملی هزینه جانی یا هزینه مالی بسیار سنگینی داشته باشد (مثل تحقیقات در بخش انرژی هسته ای)
- ۸) شبیه سازی به ما این امکان را می دهد که با استفاده از آن بتوانیم سیستم های دینامیک یا پویا را در حالت های مختلف (زمان واقعی یا زمان فشرده یا زمان گسترده) مورد مطالعه قرار بدهیم.
- ۹) زمانیکه عوامل جدیدی به سیستم وارد و یا در کار سیستم دخالت می کنند شبیه سازی می تواند مورد استفاده قرار گیرد تا وضعیت جدید را مورد بررسی قرار داده و در صورت وجود اشکال نقاط کور ایجاد شده را پیدا کرده که باعث رفتار واقعی در آن سیستم شود .

**زمینه های کاربرد شبیه سازی:**

- ۱) شبیه سازی روند یک بانک که در آن مشتری ها در زمانهای مختلف از یک زمان جهت دریافت خدمات یا سرویس های بانکی به آن بانک مراجعه میکنند و پس از دریافت سرویس مورد نظر آن را ترک می کنند.
- ۲) شبیه سازی یک شرکت هواپیمایی در یک فرودگاه بزرگ به منظور آزمون تغییرات در سیاست های آن شرکت.
- ۳) شبیه سازی عبور و مرور در یک تقاطع یا چراغهای راهنمایی زمان بندی شده به منظور تعیین بهترین زمانبندی.
- ۴) شبیه سازی عملیات تعمیر و نگه داری از یک سیستم به منظور تعیین تعداد بهینه تعمیر کاران.
- ۵) شبیه سازی یک سیستم مخابراتی از یک مرکز که کار آن رفع عیب تلفن های مشترکان است به این ترتیب که با اتخاذ چه تصمیم های می توان در کمترین زمان پاسخگوی مشتریان بود یا به عبارتی دیگر زمان انتظار مشتریان به حداقل برسانیم.
- ۶) شبیه سازی مراجعات به یک فروشگاه بزرگ.
- ۷) شبیه سازی مراجعات به یک بیمارستان یا بخش اورژانس یک بیمارستان به منظور به دست آوردن متوسط زمان انتظار یک بیمار تا اینکه پزشک او را ویزیت کند یا متوسط توقف بیمار در بیمارستان.
- ۸) شبیه سازی اقتصاد کشور به منظور پیشگیری تاثیر تصمیمات سیاست اقتصادی دولت.
- ۹) شبیه سازی یک تاکتیک ویژه در یک عملیات نظامی.
- ۱۰) شبیه سازی سیستم های توزیع در سطح گسترده و سیستم کنترل انبار داری به منظور اصلاح و بهبود کیفیت طراحی این سیستم ها.
- ۱۱) شبیه سازی کلیه عملیات یک موسسه بازرگانی به منظور ارزیابی تغییرات در سیاست های مدیریت.
- ۱۲) شبیه سازی یک سیستم ارتباطی مخابراتی به منظور تعیین ظرفیت نسبی عوامل مورد نیاز برای تهیه یک سرویس رضیت بخش، بهترین سطح اقتصادی.

**مفاهیم اولیه شبیه سازی:**

هر سیستم عبارت است از مجموعه ای از اشیاء و افراد (نظیر ماشین کامپیوتر و انسان) و قوانین و مقررات که عمل و عکس العمل همزمان آنها باعث تحقق یافتن امری خاص یا هدفی معین و مشخص می شود. بعنوان مثال تشکیلات یک بانک را در نظر بگیرید که در آن تعدادی کارمند، تعدادی کامپیوتر و ملزوماتی دیگر مثل میز و صندلی و... و دفاتر به همراه قوانین بانکی جهت رسیدن دو هدف فعالیت می کنند (این دو هدف یکی انجام بهینه خدمات بانکی و دیگری درآمدهای بانکی)

**وضعیت سیستم :**

به چگونگی اشیاء، مشخصات و روابط بین اجزای هر سیستم در هر لحظه از زمانی وضعیت سیستم می گویند. تذکر: معمولاً برای نشان دادن وضعیت اشیاء سیستم در درس شبیه سازی از مقایر عددی استفاده می کنیم. مثلاً تعداد مشتری در صف انتظار و یا تعداد مشتری در حال سرویس گیری و یا تعداد تحویل دار مشغول به کار و نیز تعداد تحویل دار بیکار از یک سیستم بانکی را با عدد نشان می دهیم

**متغیر های وضعیت سیستم:**

عبارت اند از مجموعه متغیرهایی که برای توصیف وضعیت آن در یک زمان مشخص و متناسب به اهداف سیستم مورد نیاز و ضروری می باشند

به عنوان مثال: **در یک سیستم بانکی اشیاء مربوط به آن شامل**

مشتری ← میزان ورودی، نوع کار، فاصله زمانی ورود

باجه ها ← میزان سرویس دهی، نوع سرویس، تعداد باجه ها

کارمندان ← سرعت انجام کار، تعداد

پول ← نوع پول، حجم پول

**در یک سیستم بیمارستان:**

بیماران ← میزان ورود، نوع بیماری، زمان بستری

پزشکان ← تعداد، تخصص، سرعت کار

آزمایشگاه ← سرعت عمل

پرستاران ← تعداد، سرعت، مهارت

تذکر: مقدار متغیرهای وضعیت در یک لحظه معین نشان دهنده ی وضعیت سیستم مورد نظر در آن لحظه خاص است به عنوان مثال اگر مجدداً یک سیستم بانکی را در نظر بگیریم در هر لحظه خاص در این سیستم بعضی از متغیر های وضعیت می توانند چنین باشند:

- تعداد مشتری های حاضر در بانک
- تعداد مشتری های در صف انتظار
- تعداد مشتری های در حال دریافت سرویس
- تعداد کارمندان مشغول
- تعداد کارمندان بیکار

### متغیر های تصمیم گیری:

بعضی از متغیر ها در یک سیستم قابل کنترل بوسیله مدیران هستند مثل تولید نوعی کالا در یک کارخانه که یک مدیر می تواند برای مدتی تولید آنرا کاهش و افزایش دهد و البته این نوع کنترل تغییر وضعیت خاص را در آن سیستم ایجاد نمی کند

تذکر: یک بخش کلی از تجزیه و تحلیل یک سیستم مطالعه تغییرات در وضعیت سیستم در طول زمان است و

نحوه اندازه گیری این تغییرات به این ترتیب است که به عنوان مثال اگر  $x_{t+1}, x_t$  نشان دهنده ی وضعیت سیستم

در لحظات  $t, t+1$  باشند در این صورت حجم یا بزرگی این تغییرات برابر  $|x_{t+1} - x_t|$  می باشد

(مثال) در شعبه بانک در بازه زمانی ۱۰ دقیقه شروع به کار ← ۲۰ نفر در صف انتظار

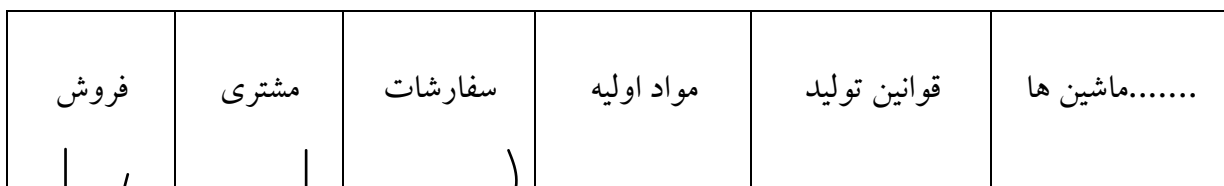
۲۰ دقیقه شروع به کار ← ۴۰ نفر در صف انتظار

$$|40 - 20| = 20$$

$\downarrow$                        $\downarrow$   
 $x_{(10)}$                        $x_{(20)}$

جمع مشتری های منتظر بین زمانهای (۱۰ و ۲۰) ←

مثال کلی از یک سیستم و محیط و اجزای آن سیستم فرضی:



↓  
قیمت

↓  
اجزای سیستم

کل شکل: سیستم و محیط سیستم

تذکر: بعضی از تغییرات در یک سیستم بلافاصله وضعیت سیستم را تغییر می دهند مثل ورود مشتری به بانک که ممکن است با این کار یک نفر به صف مشتریان منتظر اضافه شود یا یک کارمند بیکار مشغول شود اما بعضی تغییرات دیگر چنین نیستند مثلا کارخانه ای را در نظر بگیرید که فروش یک محصول آن کم شده است اما ممکن است تولید تا مدت زیادی با همان سرعت قبلی ادامه یابد. اما بعد از مدتی بالاخره تولید کاهش می یابد.

### انواع سیستم:

با توجه به نوع متغیر هایی وضعیت سیستم ها به سه دسته گسسته (Discret) و پیوسته (continus) و مختلط تقسیم می شود.

**1) سیستم های گسسته:**

به سیستم هایی گفته میشود که در آنها متغیرهای وضعیت با گذشت زمان به تعداد قابل شمارش تغییر وضعیت می دهند مثلا در سیستم های بانکی، آرایشگاه، پمپ بنزین و نظایر آن با گذشت زمان مشتری ها یکی یکی، کم یا زیاد می شود.

**2) سیستم های پیوسته:**

به سیستم هایی می گوئیم که متغیرهای وضعیت در آنها با گذشت زمان به تعداد قابل شمارش تغییر نکند به عنوان مثال میزان آبی که در پشت یک سد در یک فاصله زمانی اضافی یا کم می شود قابل شمارش نیست.

**3) سیستم های مختلط:**

سیستمی است که بعضی از متغیرهای وضعیت آن گسسته و بعضی دیگر پیوسته باشند.

**تعریف مدل:**

هر مدل عبارت است از نمایشی از سیستم واقعی به طوری که بتوان با توجه به آن سیستم مورد نظر را مطالعه و بررسی نمود که بطور کلی مدل ها به دو دسته تقسیم می شوند.

دسته اول مدل ها از یک سیستم همان چیزی است که ما آن را ماکت می نامیم که به آنها مدل های فیزیکی می گوئیم. دسته دوم مدل های ریاضی هستند در این مدل ها از نمادها و معادلات ریاضی برای شبیه سازی سیستمی استفاده می شود که این مدل های ریاضی هم توسط دست و هم توسط کامپایلر قابل run یا اجرا کردن هستند.

**انواع مدل های شبیه سازی:****1) مدل ساکن یا استاتیک**

این مدل نمایشی از یک سیستم است در یک زمان معین و خاص. این مدل به مدل شبیه سازی مونت کارلو نیز معروف است به عنوان مثال سیستمی را به یک لحظه معین در نظر بگیرید در این سیستم داریم پارامتری خاص

$$\text{مدل ساکن است و زمان نقشی ندارد} \quad = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx \quad \text{پارامتر خاص}$$

در این نمایش از سیستم و در آن لحظه زمان خاص  $t$  نقشی ندارد

**2) مدل قطعی یا معین**

مدلی است که در آن کلیه متغیرهای وضعیت بطور قطع و یقین مشخص باشد و هیچکدام حالت احتمالی نداشته باشد بعنوان مثال یک کارخانه نوشابه سازی را در نظر بگیرید لازمی چنین کارخانه ای این است که بطری های نوشابه با سرعت مشخص در سیستم گردش کنند زمان پر کردن هر بطری کاملاً مشخص باشد زمان پرس کردن درب بطری نیز مشخص باشد.

**۳) مدل پویا یا دینامیک**

مدلی است که در آن با گذشت زمان متغیرهای وضعیت تغییر کند مثل شبیه سازی فعالیت های یک بانک یا یک کارخانه یا یک بیمارستان. در این سیستم ها معمولاً با گذشت زمان متغیرهای وضعیت تغییر می کند مثل تعداد مشتری های بانک.

**۴) مدل احتمالی**

مدلی است که در آن یک یا چند متغیر وضعیت حالت تصادفی داشته باشند مثلاً اگر  $X$  متغیر وضعیت زمان بین ورود دو مشتری باشد،  $X$  خود یک متغیر تصادفی با یک تابع توزیع احتمال مثل  $f(x)$  باشد.

$$P(X+x) = f(x)$$

بانک و بیمارستان خود جزء مدل های احتمالی نیز می باشند بدلیل اینکه اگر متغیرهای وضعیت ورود و خروج مشتری را در این دو سیستم در نظر بگیریم زمان ورود و زمان خروج تصادفی است. یادآوری: همانطور که قبلاً گفتیم هر اتفاقی که باعث تغییر وضعیت در سیستم می شود را رویداد پایش آور می گویند.

**شبیه سازی سیستم ها با رویداد گسسته:**

به مجموعه فعالیت هایی که برای تعریف یک مدل در یک سیستم گسسته انجام می شود و مطالعاتی که منجر به دستیابی اطلاعاتی درباره رفتار سیستم واقعی می گردد به شبیه ساز سیستم گسسته معروف است

**نکته** معمولاً نتایج یک مدل شبیه سازی با مدل های ریاضی بیان میشود. آن مدل های ریاضی هم با دست و هم با کامپیوتر قابل حل هستند برای حل کردن آنها با کامپیوتر دو راهکار وجود دارد:

۱) استفاده از یک زبان برنامه نویسی مثل  $C$ ,  $C++$ ,  $pascal$ ,  $Fortran$ , ....

۲) استفاده از نرم افزارهای آماده مثل  $gpass$ ,  $slam$ ,  $desire$ ,  $Arena$ , ....

**گذر زمان در مدل های شبیه سازی:**

از آنجایی که اغلب مدل های شبیه سازی از نوع پویا هستند یعنی با گذشت زمان متغیرهای وضعیت آن تغییر می کند لذا متغیری که در شبیه سازی گذشت زمان را نشان می دهد به ساعت شبیه سازی معروف است و ما در برنامه ها، ساعت شبیه سازی را با متغیر  $clock$  مشخص می کنیم. مقدار اولیه این متغیر لحظه شروع شبیه سازی را نشان می دهد و مقدار نهایی آن نیز لحظه پایان را مشخص می کند بعنوان مثال اگر بخواهیم کارخانه ای را از ۸ صبح تا ۴ بعد از ظهر شبیه سازی کنیم تغییرات  $clock$  بصورت زیر است.

$$8 \leq \text{clock} \leq 16$$

clock = مقدار اولیه = 8

clock = مقدار نهایی = 16

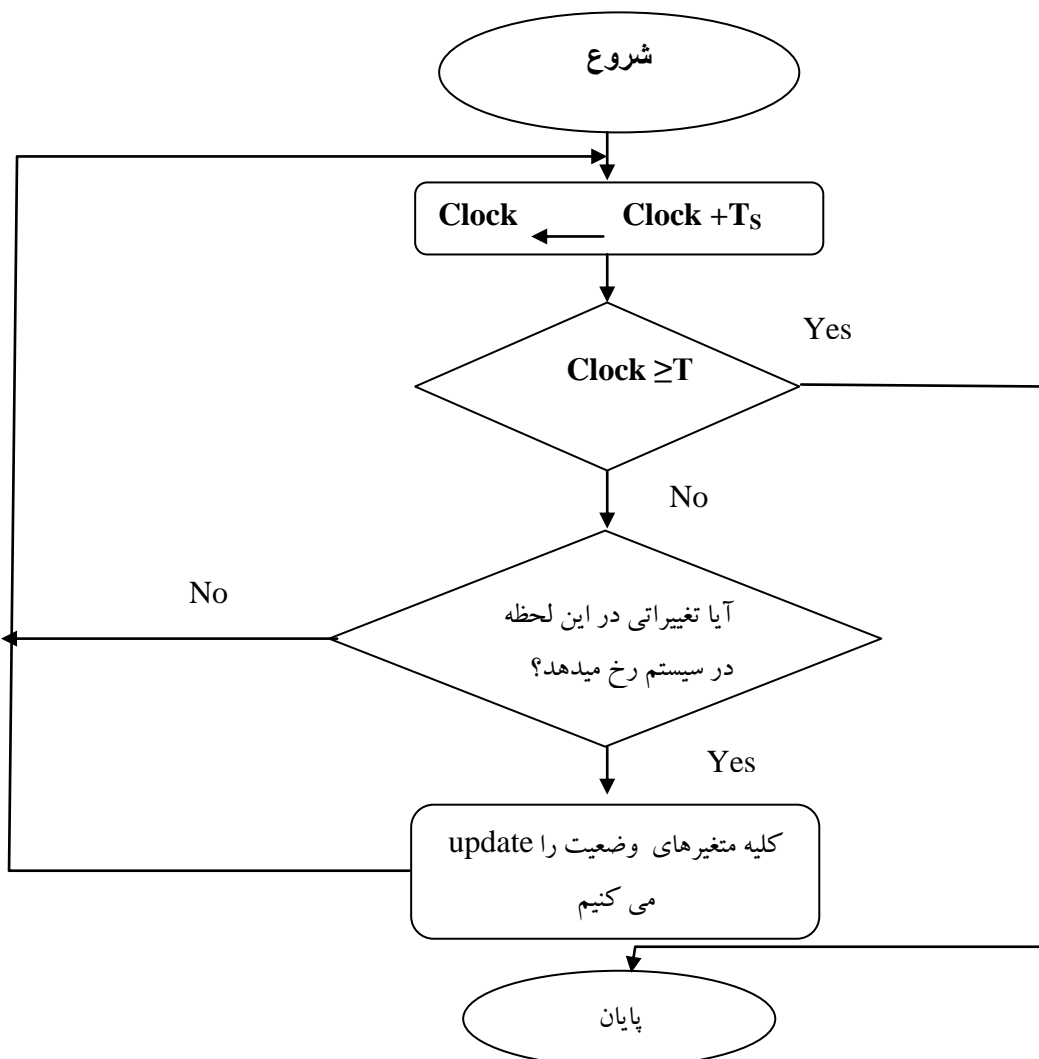
### روش های تغییر ساعت شبیه سازی (clock)

دو روش برای اینکار موجود است:

#### ۱) روش تغییر با مقدار ثابت:

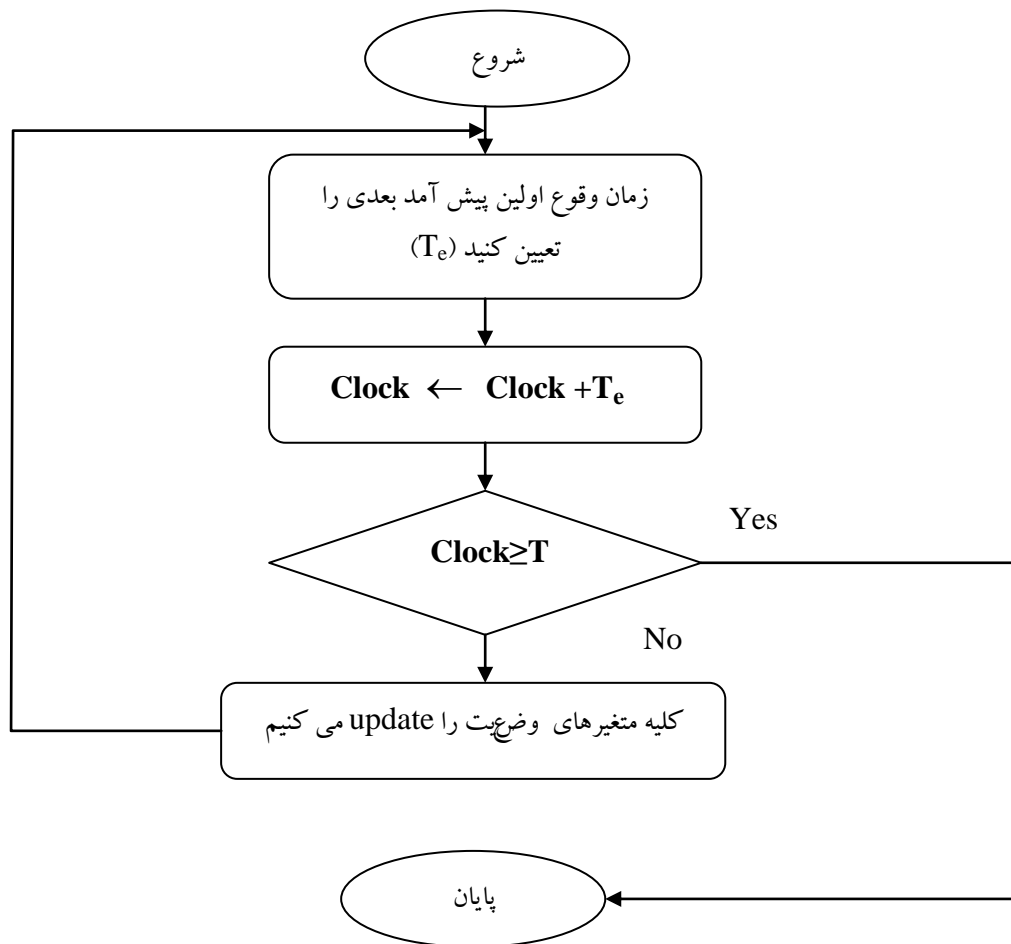
در این روش ساعت شبیه سازی هر بار به اندازه مقداری ثابت که به آن ثابت زمانی یا قدم زمانی می گویند افزایش داده میشود. پس از هر افزایش کلیه متغیرهای وضعیت سیستم بهنگام رسانی (update) میشوند عمل افزایش clock و update کردن متغیرهای وضعیت تا رسیدن به شرط پایان تکرار میشود. مقدار ثابت افزایش به فواصل زمانی بین پیش آمدها بستگی دارد و مقدار آن باید به گونه ای تنظیم شود که هیچ پیش آمدی نادیده گرفته نشود. بنابراین اجباراً ثابت زمانی باید برابر با مینیمم فاصله زمانی بین دو رویداد در آن سیستم باشد.

فلوچارت اجرای این روش بصورت زیر است:



## ۲) روش افزایش با مقدار متغیر :

در روش قبلی که مقدار clock هر دفعه با مقدار ثابتی افزایش داده می شد در موارد زیادی ممکن است پس از افزایش هیچ پیش آمدی رخ ندهد برای رفع این اشکال از روش افزایش با مقدار متغیر استفاده می شود. در این روش ابتدا مقدار اولیه ای برابر با صفر برای clock در نظر گرفته می شود یعنی ساعت شبیه سازی روی صفر تنظیم می شود سپس بر اساس فرضیات سیستم زمان وقوع اولین پیش آمد طبق متغیر تصادفی که به ما داده شده است پیش بینی می شود. سپس کلیه متغیرهای سیستم را در آن زمان update می کنیم و مهمتر از همه اینکه باید مقدار clock را برابر با آن زمان پیش بینی شده بگیریم. فرایند پیش بینی زمان رخ دادن یک پیش آمد و update کردن متغیرهای وضعیت سیستم تا وقتی که  $clock \leq T$  ( T زمان نهایی) تکرار می شود. فلوچارت این فرایند بصورت زیر است :



**تذکر:** در هر دو روش گفته شده برای افزایش ساعت شبیه سازی زمان وقوع پیش آمدهای ممکن در طول مدت شبیه سازی باید قبل از اجرای مدل پیش بینی شود و در جدولی ثبت گردد مخصوصاً اگر زمان شبیه سازی اندکی طولانی باشد اولاً حجم حافظه مصرفی سیستم کمی طولانی می شود ثانیاً وقت سیستم را می گیرد.

برای رفع این اشکال پیش آمده‌ها را به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم کرده و فقط پیش آمده‌های اصلی را ثبت می‌کنیم.

**پیش آمد اصلی:** به پیش آمدهایی گفته می‌شود که وقوع آنها مستقل از هر پیش آمد دیگری باشد.

**پیش آمد فرعی:** به پیش آمدهایی گفته می‌شود که وقوعشان به یک یا چند پیش آمد دیگر وابسته باشد. مثلا در سیستم یک بیمارستان ورود مشتری تصادفی است و به عاملی در داخل بیمارستان بستگی ندارد پس این پیش آمد یک پیش آمد اصلی است اما زمان خروج بیمار از بیمارستان به عوامل مختلفی در بیمارستان بستگی دارد امکانات و پرستاران و متخصص و ... بنابراین پیش آمد فرعی است.

### شبیه سازی سیستم صف تک سرویس دهنده :

آرایشگاهی را در نظر بگیرید که در آن یک آرایشگر مشغول به کار است. فرض کنید برآورد شده است زمان ورود مشتری ها و زمان اصلاح هر یک مطابق جدول زیر باشد:

شماره مشتری	زمان ورود	زمان اصلاح
1	15	10
2	35	12
3	50	25
4	70	8
5	80	10
6	85	25
7	100	35
8	120	40
9	150	10
10	180	7
11	190	10
12	195	15
13	220	10
14	235	15
15	240	40

برای چنین سیستمی میخواهیم موارد زیر را بدست آوریم:

(۱) متوسط زمانی که مشتری در آرایشگاه بسر می برد

(۲) متوسط زمانی که مشتری در صف است

(۳) درصد زمانی که آرایشگر مشغول یا بیکار است

برای حل این مسأله اولاً می دانیم زمان توقف مشتری در آرایشگاه برابر با زمان انتظار در صف + زمان اصلاح می باشد.

ثانیاً برای پیدا کردن متوسط انتظار مشتری در صف متغیرهای وضعیت این سیستم را می توانیم بصورت زیر مشخص کنیم:

(الف) وضعیت آرایشگر می تواند بیکار یا مشغول باشد

(ب) تعداد مشتری های منتظر نوبت

(ج) زمان ورود هر یک از مشتری هایی که در صف انتظارند

ثالثاً برای این سیستم می توانیم دو نوع رویداد تعریف کنیم:

(الف) رویداد ورود مشتری به آرایشگاه

(ب) رویداد خروج مشتری از آرایشگاه پس از اصلاح

شماره مشتری	زمان ورود	زمان شروع اصلاح	زمان خروج از آرایشگاه	زمان توقف در صف	زمان توقف در آرایشگاه
1	15	15	25	0	10
2	35	35	47	0	12
3	50	50	75	0	25
4	70	75	83	5	13
5	80	83	93	3	13
6	85	93	118	8	33
7	100	118	153	18	53
8	120	153	193	33	73
9	150	193	203	43	53
10	180	203	210	23	30
11	190	210	220	10	30
12	195	220	235	25	40
13	220	235	245	15	25
14	235	245	260	10	35
15	240	260	300	20	60

$$\text{متوسط زمانی که مشتری در آرایشگاه است} = \frac{10+12+25+\dots+60}{15} = 33.6$$

$$\text{متوسط انتظار در صف} = \frac{0+0+0+5+\dots+20}{15} = 14.2$$

(حل قسمت ۳)

زمان بیکاری آرایشگر	وضعیت آرایشگر	تعداد مشتری در آرایشگاه	تعداد مشتری در صف	نوع پیشامد	شماره مشتری	زمان پیشامد
—	بیکار	0	0	شروع	—	0
15	مشغول	1	0	ورود	1	15
0	بیکار	0	0	خروج	1	25
10	مشغول	1	0	ورود	2	35
0	بیکار	0	0	خروج	2	47
3	مشغول	1	0	ورود	3	50
0	مشغول	2	1	ورود	4	70
0	مشغول	1	0	خروج	3	75
0	مشغول	2	1	ورود	5	80
0	مشغول	1	0	خروج	4	83
0	مشغول	2	1	ورود	6	85

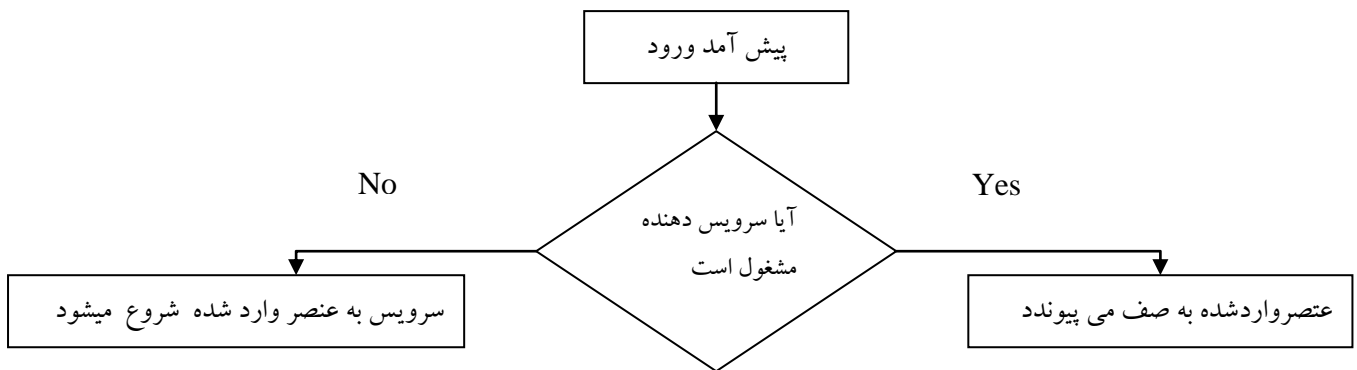
نکات مهم این مثال:

- ۱) سیستم های مثل مثال فوق را یک سیستم تک سرویس دهنده می گوئیم.
- ۲) در چنین سیستم هایی تقاضای سرویس در هر لحظه به طور تصادفی رخ می دهد یعنی زمان ورود هر مشتری بطور تصادفی اتفاق می افتد یا بطور علمی می توانیم بگوئیم زمان ورود وابسته به یک متغیر تصادفی با یک تابع توزیع خاص می باشد. در چنین سیستمی هر عنصری که به صف می پیوندد سرانجام به آن سرویس داده می شود.
- ۳) در واقع مدت زمان سرویس هر مشتری هم تصادفی است و از یک توزیع احتمال پیروی می کند که نحوه تعیین این تابع توزیع بعداً توضیح داده می شود.
- ۴) ظرفیت چنین سیستم هایی نامحدود فرض می شود که این ظرفیت شامل عنصر در حال سرویس گیری و عناصر در صف می باشد.
- ۵) قانون دریافت سرویس برای هر مشتری در این سیستم ها FIFO می باشد.
- ۶) در چنین سیستم هایی زمان ورود هر مشتری باید از کل زمان شبیه سازی کمتر باشد در غیر اینصورت طول صف انتظار به طور نامحدودی افزایش می یابد که اصطلاحاً می گوئیم در سیستم صف انفجاری تولید شده است.

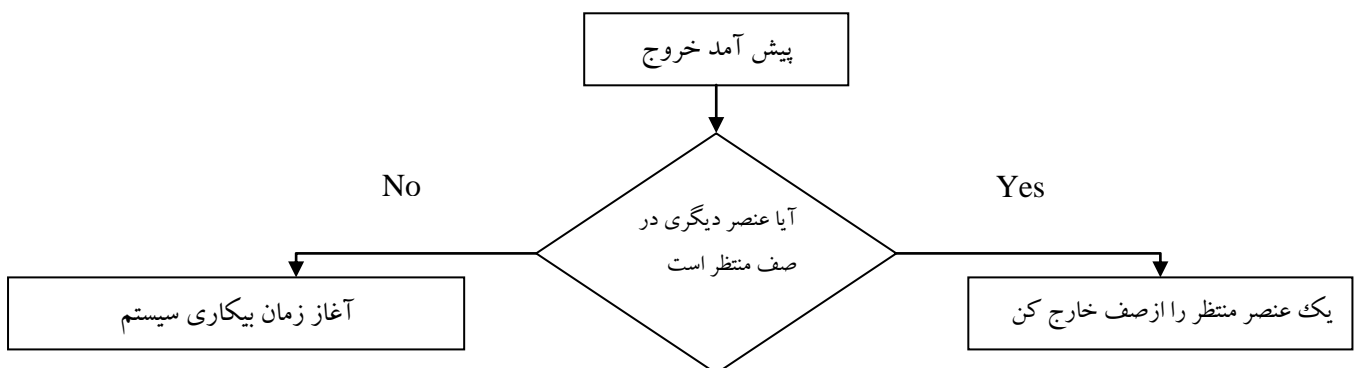
۷) حالت استثنایی دیگر وقتی است که نرخ ورود یا زمان ورود مشتری وقتی است که در یک دوره زمانی کم بیشتر از نرخ سرویس باشد که در این حالت هم نیازمند بحث پیچیده است.

۸) همانطور که در این مثال دیدیم سرویس دهند می تواند یکی از دو وضعیت بیکار یا مشغول را داشته باشد و پیش آمدهای ورود و خروج در تغییر وضعیت سرویس دهنده موثرند.

۹) فلوچارت رویداد ورود در این سیستم به صورت زیر است:



۱۰) فلوچارت پیش آمد خروج



### مراحل شبیه سازی کامپیوتری

#### ۱) تعیین هدف و تعریف سیستم:

اولین قدم هر آزمایشی از جمله شبیه سازی تعیین هدف آزمایش است زیرا این هدف است که نحوه آزمایش، جزئیات لازم و نتایج نهایی را تعیین می کند. پس از مشخص شدن هدف باید سعی کنیم سیستم مورد نظر را بطور کامل شناسایی کنیم.

**۲) جمع آوری مشاهدات (data) و تعیین مقدار پارامترهای سیستم:**

مقدار کلیه پارامترها (زمان مشتریان- زمان سرویس دهی به هر مشتری ورود) و نوع توزیع کلیه متغیرهای تصادفی باید تعیین شوند. آزمون

? = تابع توزیع → زمان های ورودی جمع آوری data: اولاً

? = تابع توزیع → زمانهای سرویس تعیین توزیع هر دسته از data: ثانياً

**۳) مدل سازی:**

مدل سازی عبارتست از نوشتن الگوریتم یا فلوچارت روند اجرای دستورالعمل های شبیه سازی و سپس نوشتن برنامه کامپیوتری یا اجرای مدل با استفاده از یکی از نرم افزارهای آماده.

**۴) طرح آزمایش مدل:**

انجام یک شبیه سازی کاملاً مشابه یک آزمایش در آزمایشگاه است بنابراین در این مرحله با در نظر گرفتن کلیه حالتها یا استراژی های ممکن با تغییر مقدار انواع پارامترها و همینطور تغییر مدت شبیه سازی سعی می کنیم مدل طراحی شده را آزمایش کنیم یا به عبارتی به اجرای آزمایشی آن پردازیم.

**۵) تست اعتبار مدل:**

در این مرحله بررسی می کنیم که آیا مدل طراحی شده سیستم واقعی مان را به درستی شبیه سازی می کند یا خیر. اینکار به دو طریق انجام میشود:

الف) در مواقعی که اعداد و ارقام و نتایجی از رفتار سیستم واقعی موجود باشد آنها را با نتایج بدست آمده از انجام شبیه سازی مقایسه می کنیم.

ب) دقت مدل را در پیش بینی و تعیین پارامترها و متغیرهای سیستم در آینده مورد مطالعه و بررسی قرار می دهیم. (۶) تجزیه و تحلیل نتایج:

آخرین مرحله شبیه سازی تجزیه و تحلیل نتایجی است که از آزمایش شبیه سازی حاصل شده است و جمع بندی نتایج شبیه سازی هدف اصلی ما را تشکیل می دهد. از آنجایی که بسیاری از مدل های شبیه سازی از نوع احتمالی هستند احتمال و تصادف نقش مهمی در نتایج دارد به همین دلیل آنالیز و نتیجه گیری از شبیه سازی اغلب توسط آزمون های آماری مثل آزمون فرضی ورود انجام می شود.

**مثال)** مدل شبیه سازی کامپیوتری یک سیستم صف تک سرویس دهنده =۰ بیکار =۱ مشغول

clock ← ساعت شبیه سازی      srV ← نشان دهنده وضعیت سرویس دهنده

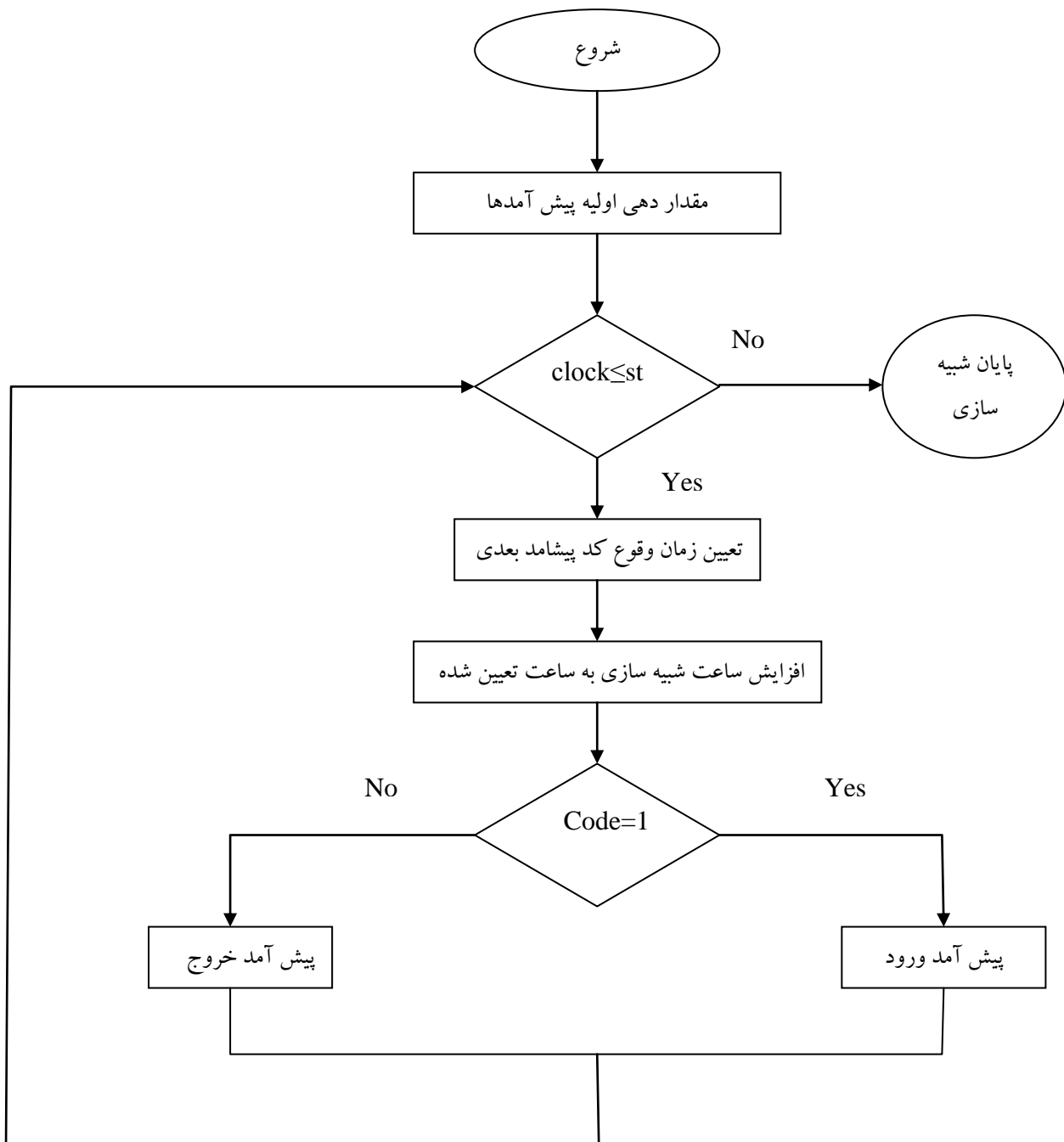
St ← کل زمان شبیه سازی      code ← ۱- پیش آمد ورود ۲- پیش آمد خروج

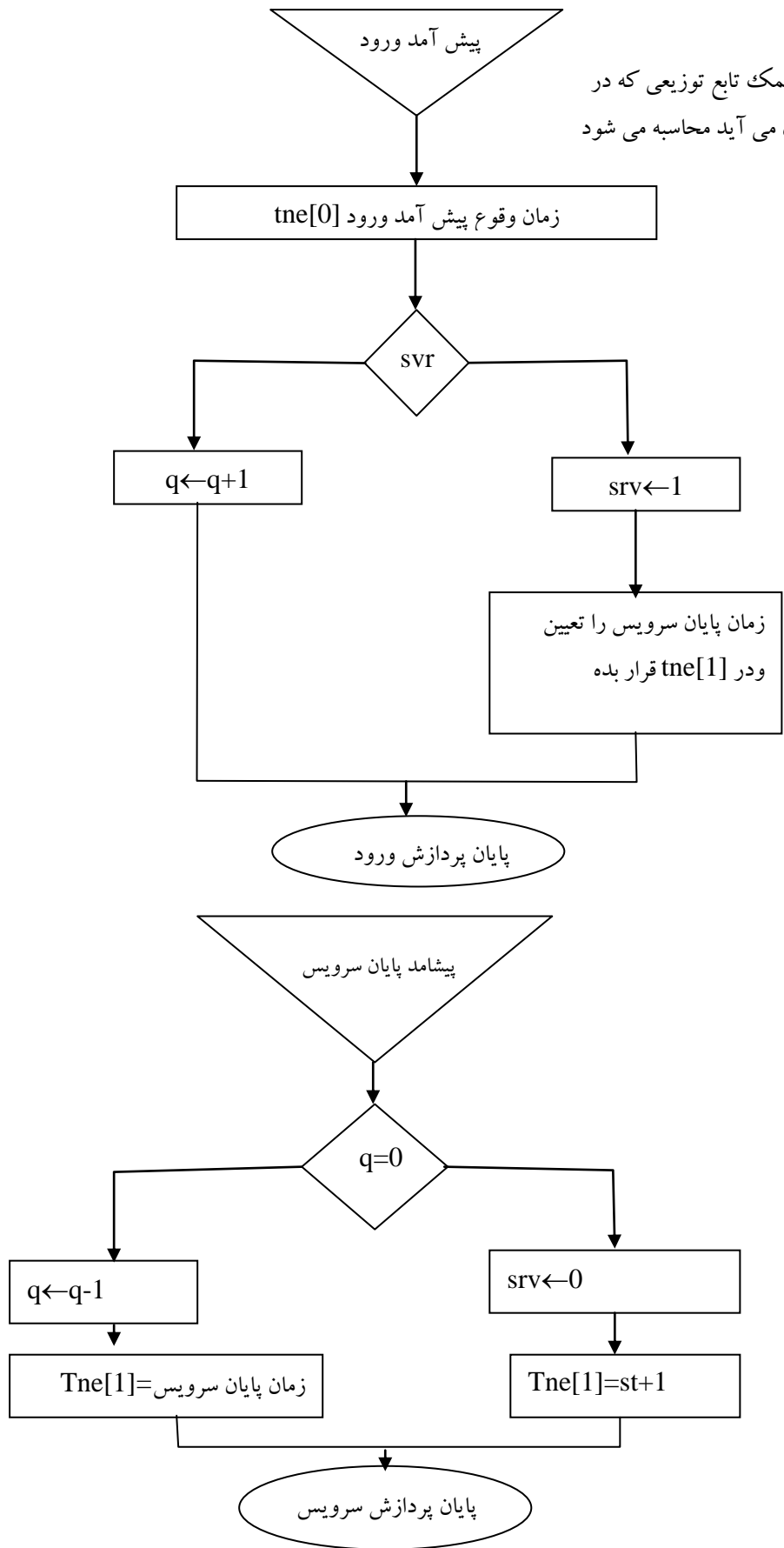
q ← تعداد مشتری در صف      tne (time next event) ← آرایه زمان وقوع رویداد بعدی

tne

زمان وقوع اولین پیش آمد بعدی

زمان پایان سرویس اولین پیش آمد بعدی

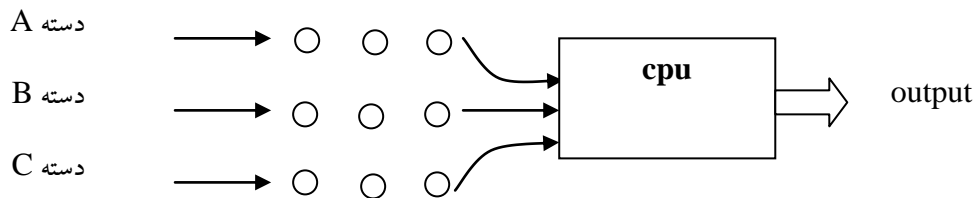




مثال: آرایشگاهی را در نظر بگیرید که در آن یک آرایشگر مشغول به کار است و مشتریان با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه وارد میشوند یعنی افزایش ساعت شبیه سازی با مقدار ثابت است و زمان سرویس هر مشتری به ترتیب به قرار زیر است: ۱۵ و ۳۵ و ۴۰ و ۶۰ و ۳۰ و ۵۵ و ۴۰ و ۲۵ و ۳۵ و ۲۰ و ۳۰ و ۲۲ و ۵۵ و ۴۵ و ۲۰ و ۴۰ و ۲۵ و ۳۰  
این آرایشگاه را برای مدت ۱۲ ساعت شبیه سازی کنید.

### سیستم چندصفت و یک سرویس دهنده:

مثال) اجرای برنامه ها در CPU کامپیوتر مد نظر باشد فرض کنید برنامه هایی که برای اجرا وارد سیستم کامپیوتر می شوند به سه دسته A, B, C تقسیم شوند. بطوری که برنامه های دسته A, B و برنامه های دسته B بر برنامه های دسته C از نظر نوبت اجرا الویت داشته باشند بنابراین می توانیم بگوییم که برنامه های هر دسته تشکیل صف جداگانه ای می دهند.



نحوه اجرای برنامه ها در این سیستم به این ترتیب است که چنانچه در صف A برنامه ای برای اجرای موجود باشد CPU ابتدا به سراغ آن می رود و آن را اجرا می کند چنانچه در صف A هیچ برنامه ای نباشد صف B چک می شود و در صورت موجود بودن برنامه ای در نوبت به اجرا می آید و در صورتی که صف های A, B خالی از هر برنامه ای می باشد CPU سراغ صف C می رود و برنامه های موجود در آن را اجرا می کند به هر حال پس از اجرای هر برنامه به ترتیب صف های A, B, C چک می شوند چنانچه سرویس دهنده در موقع ورود برنامه ای آزاد باشد. آن برنامه بدون توجه به دسته آن جهت اجرا وارد CPU میشود در ضمن در این سیستم فرض بر این است که اجرای هیچ برنامه ای قبل از پایان قطع نمی شود همچنین فرض کنید فاصله زمانی بین ورود برنامه های متوالی و نیز مدت اجرایی هر یک متغیر تصادفی با تابع توزیع شناخته شده ای باشد. برای شبیه سازی این سیستم می خواهیم از روش افزایش ساعت شبیه سازی با مقدار ثابت استفاده کنیم (  $1^s = \text{ثابت افزایش}$ ) مطابق مثالی که قبلا دیدیم در شبیه سازی این سیستم هم از دو متغیر  $T_1, T_2$  (به جای آرایه دو تایی  $ne[1]$  در مثال قبل) برای نشان دادن زمانهای وقوع پیش آمدها استفاده می کنیم.

روند کار این مدل به این ترتیب است که با شروع هر سرویس (ورود یک برنامه به CPU) بلافاصله باید زمان پایان آن را تعیین و در متغیر  $t_2$  قرار دهیم البته در شروع حلقه تکرار شبیه سازی باید زمان تخمین اجرای اولین برنامه

بعدی و قرار دادن آن  $t1$  فراموش نشود در هر حلقه تکرار باید مقدار در متغیر  $t2, t1$  تست شود و مشخص گردد که کدام پیشامد باید اجرا شود.

$T$  ← زمان کل شبیه سازی

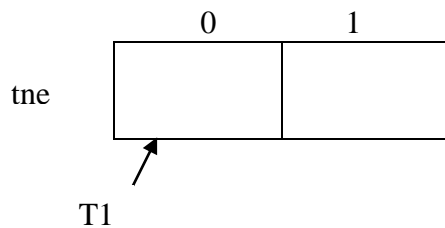
Clock ← ساعت شبیه سازی

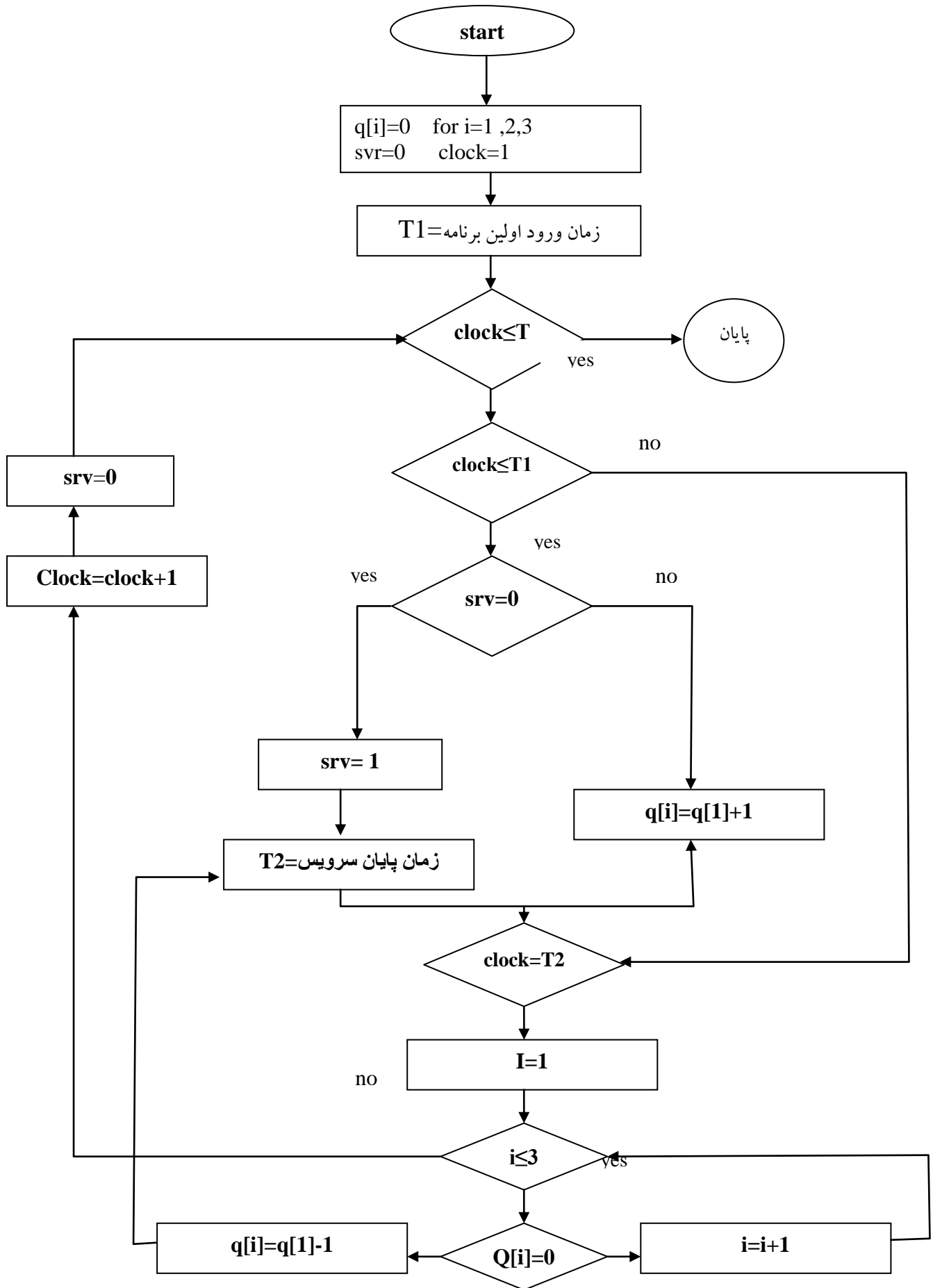
$q[i]$  ← طول صف  $I$  ام ( $i=1,2,3$ )

Srv ← وضعیت سرویس دهنده

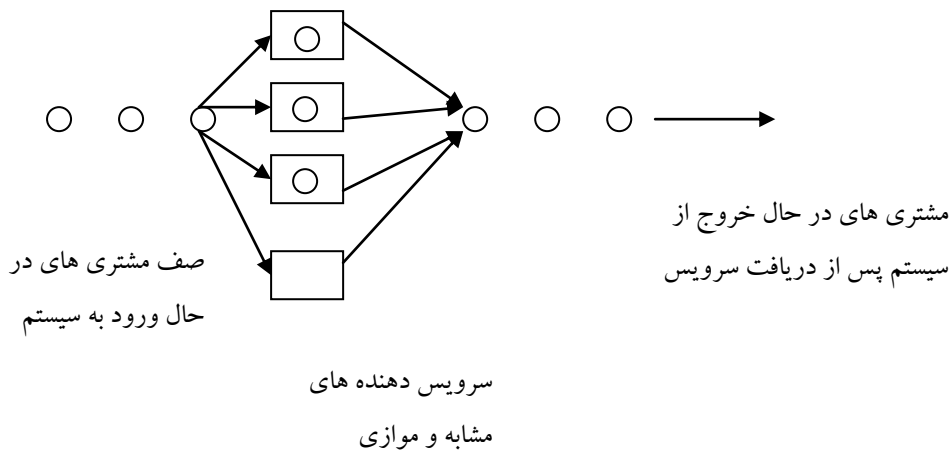
$T1$  ← زمان ورود اولین برنامه بعدی

$T2$  ← زمان پایان اجرای اولین برنامه بعدی

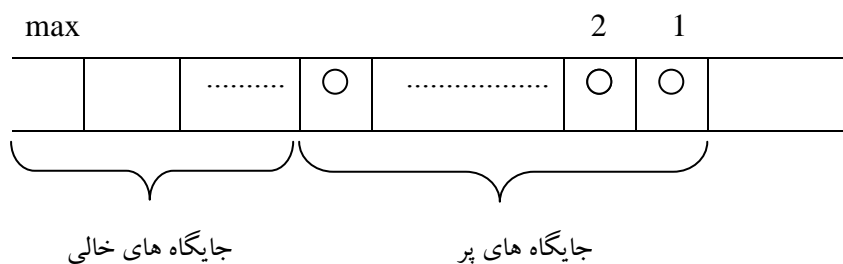




سیستم یک صفت چند سرویس دهنده :



این صفت دارای چند سرویس دهنده ی موازی می باشد که هر یک دارای نام با شماره وضعیت (آزاد یا مشغول) هستند مشتری ها یا اشیائی که وارد سیستم می شوند تنها به یک سرویس نیاز دارند که توسط هر یک از سرویس دهنده های آزاد انجام می گیرد اگر در هنگام ورود یک مشتری گنجایش سیستم که از قبل مشخص است تکمیل باشد مشتری بدون ورود به سیستم برگشت داده می شود در ضمن در بدو ورود چنانچه سرویس دهنده ای آزاد باشد سرویس هر تازه واردی بلافاصله شروع می شود در غیر اینصورت این مشتری به صفت انتظار می پیوندد. در ضمن قانون صفت در اینجا Fifo است. در زمان لازم برای انجام هر سرویس نیز متغیری تصادفی است (این متغیر معمولاً به ما داده می شود). تعداد سرویس دهنده ها و گنجایش سیستم و توزیع زمانهای ورود معین است. هدف از این مسئله اولاً محاسبه درصد مشتریان برگشتی است ثانیاً بازدهی مفید هر یک از سرویس دهنده ها (درصد کل اشتغال هر سرویس دهنده) ثالثاً میانگین زمان انتظار مشتریان در صف. تذکر: صف را میتوان با یک آرایه یک بعدی با طولی مساوی حداکثر طول ممکن تشکیل داد و هر یک از مولفه های این آرایه را از نظر مکانی، مشابه یک جایگاه در صف و از نظر مقدار، مساوی زمان ورود یک مشتری به صف در نظر گرفت. هرگاه یک مشتری از صف خارج می شود مقدار اولین مولفه از ساعت شبیه سازی کم میشود (cbck) تا زمان انتظار این مشتری بدست آید. سپس هر یک از مولفه های را یکی به جلو حرکت می دهد.



همچنین هنگام پیوستن یک مشتری به صف زمان ورودش به سیستم ( $t1$ ) در اولین مولفه آزاد آرایه قرار می گیرد که این مقدار همان زمان ورود آخرین مشتری به صف می باشد.

پیشامدهای اصلی این سیستم:

۱- ورود یک مشتری به صف

۲- خروج یک مشتری از سیستم پس از اخذ سرویس لازم

### متغیرها شرح مقدار اولیه

•	Clock	ساعت شبیه سازی
•	T	مدت کل شبیه سازی دلخواه
•	CTOT	تعداد کل مشتریان
•	CRET	تعداد مشتریان برگشت
•	I	شماره سرویس دهنده دلخواه
•	TSRV[I]	زمان کل سرویس دهی سرویس دهنده I
•	SrcT	زمان لازم برای انجام سرویس -
•	Code	کد پیشامدها، صفر برای ورود و -
•	WT	زمان انتظار یک مشتری در صف -
•	TWT	مجموع زمانهای انتظار کل مشتریان