١١٠٢١٢

۸۷/۱/۱۰۶/۱۳۵
۸۸/۱/۱۶

دانشگاه شهید باهنر کرمان

**دانشکده ریاضی و کامپیوتر**

**بخش آمار**

**پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد آمار ریاضی**

# شبیه‌سازی سیستم‌های تصادفی گسسته - پیشامد

مرکز اطلاعات و مدارک علمی

**استاد راهنما:**

دکتر محمدعلی یعقوبی

۱۳۸۷/۱۲/۲۷

**مؤلف:**

هادی بازیار

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۱۰۲۱۲

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز کارشناسی ارشد

به

**بخش ریاضی – دانشکده ریاضی و کامپیوتر**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود .

۱۳۸۷ /۱۲/ ۰۷

دانشجو : هادی بازیار

استاد راهنما : دکترمحمدعلی یعقوبی

داور ۱ : دکترماشااله ماشین چی

داور ۲ : دکتراحدجمالیزاده

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکترسید ناصر حسینی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

تقدیم به

رنجهای بی پایان پدرم

و

صبوری مادرم

که وجودشان مایه سربلندی و سعادت من است.

# تشکر و قدردانی

**به نام او که اولین آموزنده است.**

ستایش خداوند مهربان را که به انسان آموخت آنچه را که نمی دانست (خدایا ما هیچ نمی دانیم، جز آنچه که تو به ما آموخته ای- سوره بقره، آیه ۳۲). درود بر پیامبران الهی که معلمان بزرگ بشر بودند و امر تزکیه و تعلیم را در طول تاریخ بر عهده داشته- اند. . . . و سپاس معلمین بزرگوار و اساتید ارجمند را که چراغ علم و معرفت فرا رویم افروخته و با تلاشی عاشقانه و خستگی ناپذیر دریچه های باغ دانش را به رویم گشودند. خاضعانه در برابر یکایک آنها سر تعظیم فرود می آورم و بر دست های توانمندشان بوسه می زنم. در اینجا بر خود واجب می دانم که از رهنمودهای ارزشمند و زحمات استاد ارجمند **جناب آقای دکتر یعقوبی** که در انجام این تحقیق به عنوان استاد راهنما رو شکر راهم بوده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

همچنین از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر جالیزاده که به عنوان یک دوست و برادر بزرگتر، در این راه مرا راهنمایی نموده اند، سپاس گزاری می کنم.

در پایان از دوستان خوبم آقایان و خانم ها: مهندس مجتبی اورک، مهدی باقری، حامد محمودیان، مهندس عادل شادمان، مهندس امیر شایسته، کیوان احمدی، مهندس سعید کیان زاده، رضا گلابی، آزاده حبیبی که همراه و یار من در انجام این تحقیق بوده اند کمال تشکر را دارم.

## چکیده

شبیه‌سازی در واقع، تقلیدی از عملکرد سیستم واقعی، به منظور ارزیابی آن سیستم است. شبیه‌سازی‌ها اغلب برای تحلیل سیستم‌هایی که حل آن‌ها از طریق روش‌های تحلیلی خیلی دشوار است، از قبیل حساب دیفرانسیل و انتگرل، آمار و احتمال و نظریه صف، بکار می‌روند. مدل‌های شبیه‌سازی گسسته- پیشامد بطور مرسوم دارای مؤلفه‌های تصادفی می‌باشند، که طبیعت احتمالی سیستم مورد نظر را تقلید می‌کنند. از طرفی در بعضی از مسائل بهینه کردن فرآیند سیستم مد نظر می باشد. هدف بستهٔ «بهینه سازی»، هماهنگ کردن شبیه‌سازی دنباله‌ای از پیکربندی‌های سیستم است، بطوری‌که سرانجام یک پیکربندی سیستم بدست می‌آید که جوابی بهینه یا نزدیک به بهینه را ارائه می‌دهد. در این پایان- نامه، شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته- پیشامد و روش‌های تجزیه و تحلیل آن معرفی شده است. همچنین کاربرد شبیه سازی در حل مسائل بهینه سازی بیان شده است.

## فهرست

**عنوان** **صفحه**


### فصل اول: مقدمه ای بر شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد

۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد ..... ۳

۱-۲-۱ جاذبه‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزار تجزیه وتحلیل مسأله ..... ٤

۱-۲-۲ مفاهیم مربوط به شبیه‌سازی ..... ۸

۱-۲-۳ مثالی از شبیه‌سازی ..... ۱۳

۱-۳ تولید اعداد تصادفی ..... ۲٤

۱-۳-۱ اعداد تصادفی ..... ۲۵

۱-۳-۲ تولید اعداد تصادفی ..... ۲٦

### فصل دوم: برخی توزیع‌های آماری سودمند در شبیه‌سازی

۲-۱ مقدمه ..... ۳۰

۲-۲ مدل‌های آماری سودمند ..... ۳۱

۲-۲-۱ توزیع‌های پیوسته..... ۳۲

۲-۲-۲ توزیع‌های گسسته..... ٤٠

۲-۳ فرآیندهای شمارش پواسن..... ٤٥

۲-۳-۱ فرآیند پواسن..... ٤٥

۲-۳-۲ فرآیند پواسن ناهمگن..... ٤٦

۲-۳-۳ برآورد تابع شدت..... ٤٨

## فصل سوم: تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی و نتایج شبیه‌سازی

۳-۱ مقدمه..... ٥٦

۳-۲ تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی..... ٥٨

۳-۲-۱جمع آوری داده ها..... ٥٨

۳-۲-۲ تعیین توزیع‌های احتمال..... ٦١

۳-۲-۲-۱ نمودار فراوانی..... ٦١

۳-۲-۲-۲ تعیین توزیع‌های احتمال فرضی..... ٦٢

۳-۲-۲-۳ رسم احتمالات..... ٦٥

۳-۲-۳ برآورد پارامترها..... ٦٩

۳-۲-٤ آزمون‌های برازندگی..... ٧٣

۳-۲-٤-۱ آزمون کای دو..... ٧٣

۳-۲-٤-۲ آزمون کالموگروف- اسمیرنف ($KS$) ..... ۷۸

۳-۳ تجزیه و تحلیل نتایج ..... ۹۰

۳-۳-۱ انواع شبیه سازی براساس تجزیه و تحلیل خروجی‌ها ..... ۹۰

۳-۳-۲ معیارهای عملکرد و ارائه برآورد برای آن‌ها ..... ۹۱

۳-۳-۲-۱ برآورد نقطه ای ..... ۹۲

۳-۳-۲-۲ برآورد فاصله ای ..... ۹۳

۳-۳-۳ تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی منقطع ..... ۹۵

۳-۳-۳-۱ تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی حالت پایا ..... ۹۶

## فصل چهارم: کاربرد شبیه‌سازی در حل مسائل بهینه‌سازی

٤-۱ مقدمه ..... ۱۰۰

٤-۲ بهینه سازی براساس شبیه سازی ..... ۱۰۱

٤-۳ برخی روش های حل مسائل بهینه سازی با متغیر های پیوسته ..... ۱۰۳

٤-۳-۱ تقریب تصادفی ..... ۱۰٤

٤-۳-۲ روش های دیگر ..... ۱۰٦

٤-۴ روش های حل مسائل بهینه سازی با متغیرهای گسسته ..... ۱۰۷

٤-٤-۱ گزینش آماری ..... ۱۰۷

٤-٤-٢ جستجوی تصادفی..... ۱۱۰

مراجع ومنابع..... ۱۱۷

واژه نامه فارسی – انگلیسی..... ۱۲۱

واژه نامه انگلیسی – فارسی..... ۱۲۶

# فصل اول

# مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته - پیشامد

## ۱-۱ مقدمه

شبیه‌سازی تقلیدی از عملکرد فرآیند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است. شبیه‌سازی، صرفنظر از اینکه با دست یا بوسیله رایانه انجام شود، به ایجاد یک سیستم ساختگی شبیه سیستم واقعی و بررسی آن به منظور دستیابی به نتیجه‌گیری‌هایی در مورد ویژگی‌های عملکرد سیستم واقعی مربوط می‌شود[۵].

همچنان‌که یک سیستم با گذشت زمان تکوین می‌یابد، رفتار آن با ایجاد *مدل* شبیه‌سازی بررسی می‌شود. این مدل معمولاً به شکل مجموعه‌ای از فرض‌های مربوط به عملکرد سیستم است. این فرض‌ها در چارچوب رابطه‌های ریاضی، منطقی و نمادین بین *نهادها* یا اهداف موردنظر سیستم بیان می‌شوند. با ایجاد و معتبر سازی مدل، می‌توان آن را برای تفحص درباره پرسش‌های بسیار گوناگونی از نوع «چه شود اگر» در مورد سیستم واقعی بکار برد. تغییرات موردنظر در سیستم را می‌توان ابتدا شبیه‌سازی کرد تا تأثیرشان بر عملکرد سیستم پیش‌بینی شود. شبیه‌سازی به منظور بررسی سیستم‌های در دست طراحی نیز پیش از ایجاد آنها کاربرد فراوانی دارد. پس، ایجاد مدل شبیه‌سازی، هم به منزله ابزار تحلیل برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات سیستم‌های موجود و هم به عنوان ابزار طراحی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم جدید تحت شرایط گوناگونی قابل استفاده است[٤].

شبیه‌سازی یک مدل احتمالی، تولید فرآیند تصادفی مدل و سپس مشاهدهٔ نتیجهٔ گردش مدل در طول زمان را شامل می‌شود. یکی از موارد مهم در شبیه سازی تعیین کمیت‌های معین در سیستم و مدل می باشد. اما تعیین کمیت‌ها همیشه به آسانی ممکن نیست. یک چارچوب کلی پیرامون

«**پیشامدهای گسسته**» توسعه داده شده تا برای دنبال کردن مدل در طول زمان و تعیین کمیت-های مناسب به ما کمک کند. روش شبیه‌سازی که مبتنی بر این چارچوب است تحت عنوان **روش شبیه‌سازی پیشامد گسسته** نامیده می‌شود[٤ و ٥].

مدل‌ها را می‌توان در مدل‌های ریاضی یا فیزیکی رده بندی کرد. مدل ریاضی در معرفی سیستم از نمادها و معادله‌های ریاضی استفاده می‌کند. مدل شبیه‌سازی، نوعی خاص از مدل ریاضی سیستم است. مدل‌های شبیه‌سازی را می‌توان در مدل‌های ایستا یا پویا، قطعی یا تصادفی و گسسته یا پیوسته رده‌بندی کرد. مدل‌های پویای شبیه‌سازی، سیستم‌ها را با توجه به تغییراتشان با گذشت زمان معرفی می‌کنند.

در ادامه، بخش ۱-۲ به بررسی سیستم‌های تصادفی پویا (یعنی دارای عناصر تصادفی و مرتبط با زمان) می‌پردازد که به طریقی گسسته تغییر می‌یا بند. این بخش چنین مفاهیمی را بسط می‌دهد و چارچوبی برای ایجاد مدلی گسسته پیشامد از سیستم ارائه می‌کند. مفاهیم اصلی در آن به اختصار تعریف و با مثالی تشریح می‌شوند. همچنین در بخش ۱-۳ یک روش تولید اعداد تصادفی بیان شده است.

## ۱-۲ شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد

این بخش درباره شبیه‌سازی یک سیستم مبتنی بر پیشامدهای گسسته است. شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد (که از این پس به اختصار فقط شبیه‌سازی نامیده می‌شود) عبارت است از مدل-

سازی سیستم‌هایی که متغیر های آنها تنها در مجموعه‌ای از مقاطع گسسته زمان تغییر می‌کنند. مدل‌های شبیه‌سازی را با روش‌های عددی تجزیه و تحلیل می‌کنند و روش‌های تحلیلی در این مدل‌ها معمولا بکار گرفته نمی شوند. روش‌های تحلیلی برای «حل کردن» مدل، منطق ریاضی را به کار می‌گیرند[۲٤]. مثلاً، به منظور تعیین خط مشی کمترین هزینه در مورد برخی مدل‌های موجودی می‌توان از حساب دیفرانسیل استفاده کرد. روش‌های عددی در «حل» مدل‌های ریاضی از شیوه های محاسباتی استفاده می‌کنند. در مورد مدل‌های شبیه‌سازی که روش‌های عددی را به کار می‌گیرند، مدل‌ها «اجرا» می‌شوند و نه حل؛ یعنی بر اساس فرض‌های مدل، سابقه ای ساختگی از سیستم ایجاد و به منظور برآورد معیارهای عملکرد سیستم واقعی، مشاهدات گردآوری و تجزیه و تحلیل می‌شوند. چون مدل‌های شبیه‌سازی مسائل واقعی نسبتاً بزرگ اند و مقدار داده‌هایی که لازم است ذخیره سازی و پردازش شوند چشمگیر است، معمولاً اجراها به کمک رایانه صورت می‌گیرد. اما از راه شبیه‌سازی دستی مدل‌های کوچک نیز می‌توان آگاهی قابل توجهی به دست آورد[۲٤].

## ۱-۲-۱ جاذبه‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزار تجزیه وتحلیل سیستم

شبیه‌سازی با رایانه و یا بطور خلاصه شبیه‌سازی رایانه ای [٥ و ۲٤]، خصوصیاتی دارد که آن را از دید تحلیل‌گران به صورت ابزار مفیدی نشان می دهد. با شبیه‌سازی رایانه ای می‌توان زمان را فشرده کرد به نحوی که فعالیت‌های چند سال در ظرف چند دقیقه و گاهی در ظرف چند ثانیه

شبیه‌سازی می شوند. با استفاده از این امتیاز، تحلیل‌گر می‌تواند طرح‌های متنوعی را با صرف زمان ناچیزی در مورد مسأله واقعی به اجرا گذارد و ارزیابی‌هایی از آنها به دست آورد.

در شبیه‌سازی رایانه ای با تعبیهٔ این امکان که در فواصل زمانی کوتاه در خلال ساعت شبیه‌سازی، داده های موردنظر تحلیل‌گر تولید و چاپ شوند، شناخت قابل توجهی از ریزه کاری‌های تغییرات ساختاری سیستم به دست می‌آید که دست یافتن به چنین شناختی بر اساس زمان واقعی میسر نیست. در مواردی که شناخت کافی از طبیعت تغییرات درونی سیستم موجود نباشد، ارزش این مزیت بهتر آشکار می‌شود.

از جمله ملاحظات اساسی در انجام هر تجربه، امکان تشخیص و مهار کردن منابع تغییر (پراکندگی) است. اهمیت چنین امکانی به خصوص در مواردی آشکار می‌شود که هدف تحلیل آماری رابطهٔ بین عوامل مستقل (ورودی) و وابسته (خروجی) باشد. امکان تشخیص و مهار کردن منابع تغییر در دنیای واقعی، اساساً تابعی از سیستم در دست بررسی است. به هنگام استفاده از شبیه‌سازی رایانه ای، تحلیل‌گر ناچار است که به منظور اجرای مدل خود، مشخصاً به تعیین منابع تغییر و میزان تأثیر هر منبع بپردازد. چنین نیازی او را قادر می‌کند که منابع ناخواستهٔ تغییرات را از حیطهٔ بررسی حذف کند. در عین حال، این امکان تحلیل‌گر را ملزم می‌کند تا با بذل توجه کافی به سیستم، شناخت مناسبی در زمینهٔ تشریح کمی منابع تغییرات ورودی که از حیطهٔ بررسی حذف نشده اند، کسب کند [۲٤].

به هنگام ثبت نتایج یک آزمایش واقعی (غیر انتزاعی)، ارتکاب خطای اندازه گیری اجتناب

ناپذیر است. دلیل چنین امری این واقعیت است که هیچ ابزار سنجش کامل و بدون خطایی برای ثبت نتایج آزمایش‌های فیزیکی وجود ندارد. از طرف دیگر، امکان ارتکاب خطای اندازه گیری در شبیه‌سازی رایانه ای وجود ندارد زیرا مدل شبیه‌سازی (یعنی برنامهٔ رایانه ای) اعدادی تولید می‌کند که از تأثیر تغییرات ناشی از دخالت عوامل خارجی و غیر قابل کنترل مصون است. البته، به خاطر محدود بودن طول کلمهٔ در یک رایانه، امکان ایجاد بی دقتی ناشی از گرد کردن مقادیر عددی وجود دارد ولی با بذل دقت ناچیزی از جانب تحلیل‌گر، می‌توان این منبع تغییر را چنان مهار کرد که به صورت قابل گذشت درآید. به طور مشخص با استفاده از کلمات با طول مضاعف می‌توان بی دقتی موردبحث را مهار کرد.

در جریان برگزاری یک آزمایش، گه‌گاه این نیاز مطرح می‌شود که آزمایش موقتاً متوقف شود تا نتایج به دست آمده تا لحظهٔ قطع آزمایش بررسی شود. این نیز ایجاب می‌کند که همهٔ پدیده‌های درگیر آزمایش، وضعیت فعلی خود را تا لحظه‌ای که ادامهٔ آزمایش شروع شود، حفظ کنند. در آزمایش‌های واقعی به ندرت می‌توان همهٔ فعل و انفعالات را کاملاً متوقف کرد. شبیه‌سازی رایانه-ای از این امتیاز برخوردار است و به منظور استفاده از آن باید در بخش متوقف کنندهٔ برنامه دستورالعمل‌هایی را در نظر گرفت که وضعیت حاکم بر مدل را به طور کامل ثبت کند. با شروع مجدد برنامه، شرایط لحظهٔ قطع برنامه، شرایط شروع تازه را تشکیل می‌دهد و تداوم اجرای برنامه دچار اختلال نمی‌شود [۵].

امتیاز دیگر شبیه‌سازی رایانه ای، قابلیت اجرای مدل به طور مکرر و تحت شرایط یکسان است [۲٤]. در پایان هر اجرای شبیه‌سازی رایانه ای، تحلیل نتایج ممکن است حاکی از این مطلب باشد که اگر داده‌های بیشتری جمع‌آوری می‌شد پاسخ‌گویی به برخی پرسش‌ها ممکن بود آسانتر باشد. در چنین شرایطی، می‌توان با افزودن جملات بیشتر به برنامهٔ رایانه، داده‌های مورد نیاز را تولید کرد به نحوی که شرایط شروع اجرای تازه کاملاً مانند شرایط شروع در اجرای پیشین باشد. عملکرد مدل در این دو اجرا همانند است با این تفاوت که در اجرای دوم داده های بیشتری گردآوری می‌شوند. چون اجرای مجدد مدل به مضاعف شدن وقت مورد نیاز اجرای برنامه رایانه ای می‌انجامد، باید پیش از اجرای مدل به تعیین داده های لازم پرداخت تا در هزینه ها و وقت صرفه جویی شود.

با شبیه‌سازی رایانه ای به دوباره‌سازی (و نه تکرار) یک آزمایش نیز توانا می‌شویم. منظور از دوباره‌سازی اجرای مجدد آزمایش با ایجاد تغییرات مورد نظر در پارامترهای مربوط به شرایط عملکرد آن است. مثلاً منظور از یک دوباره‌سازی مستقل این است که بدون ایجاد کوچک‌ترین تغییری در مدل شبیه‌سازی، مجدداً آن را اجرا کنیم به طوری که دنبالهٔ اعداد تصادفی مصرف شده در آن از دنبالهٔ اعداد تصادفی مصرفی در اجرای اول مستقل باشد[۵ و ۲٤].

همچنان‌که قبلاً بیان شد، هرگاه نتوان با استفاده از روش‌های تحلیلی راه حلی برای یک مسأله ارائه داد، شبیه‌سازی رایانه ای را می‌توان به طور جدی به عنوان ابزار تحقیق مورد نظر قرار داد. اگر قرار شود از شبیه‌سازی رایانه ای به منظور تحلیل مسأله استفاده شود می‌بایست به برخی از

ویژگی‌های مدل‌سازی مانند ساده کردن مسأله دقت کرد. هر چه جزئیات بیشتری در ایجاد مدل شرکت داده شود امکان حصول راه حل دقیق (تحلیلی) کمتر می‌شود. معمول این است که به منظور مهار مسأله و طراحی مدل برای آن، اقدام به ساده کردن مدل می‌کنند. عمل ساده کردن تا جایی ادامه می‌یابد که بررسی مدل ساده شده هنوز مفید باشد و ساده کردن بیشتر آن مفید تشخیص داده نشود. مدلی در این حد ساده شده را مختصرترین مدل می‌نامند. اگر نتوان مختصرترین مدل را از راه تحلیلی حل کرد و استفاده از شبیه‌سازی رایانه ای برای تجزیه و تحلیل آن در نظر گرفته شود، می‌توان بیشترین جزئیات را در طراحی مدل مسأله شرکت داد. بیشترین امتیاز شبیه‌سازی برای طراحان مدل جز این نیست که می‌توان بیشترین عوامل اعم از عمده و جزئی را در مدل شبیه‌سازی دخالت داد تا مدلی واقعی‌تر طراحی شود و بدان سبب نتایجی تولید شود که انطباق نزدیک‌تری با واقعیت داشته باشد. در هر حال، به هنگام افزودن عوامل جزئی به مدل باید جانب احتیاط را رعایت کرد. زیرا دخالت دادن جزئیات فراوان در مدل ناظر به صرف زمان و منابع مالی بیشتر در زمینهٔ شناخت سیستم، طراحی مدل و اجرای آزمایشی و نهایی مدل است [۱۱].

## ۱-۲-۲ مفاهیم مربوط به شبیه‌سازی

در این بخش با ارائهٔ مثالی، مفاهیم مربوط به شبیه‌سازی تعریف می شوند.

**مثال ۱-۲-۱:** یک رستوران بین راهی با دو خدمت‌کار، خدمت‌کار $A$ و خدمت‌کار $B$، را در نظر بگیرید. خدمت‌کاران سفارش‌ها را دریافت می‌کنند و غذا را برای مشتریان می‌آورند. خدمت-

کار $A$ برای انجام این کار تواناتر است و کمی سریعتر از خدمت‌کار $B$ کار می‌کند. قاعدهٔ ساده کننده این است که اگر هر دو خدمت‌کار بیکار باشند، خدمت‌کار $A$ سفارش مشتری از راه رسیده را می‌گیرد. می توان تصور کرد که خدمت‌کار $A$ با سابقه‌تر است. مسأله این است که روش فعلی تا چه حد خوب کار می‌کند. برای برآورد عملکرد سیستم، از شبیه‌سازی یک ساعتهٔ سیستم استفاده می‌شود. شبیه‌سازی طولانی‌تر بسیار مطمئن‌تر خواهد بود، ولی بنا به مقاصد توضیحی دورهٔ یک ساعته را انتخاب می شود.

**تعریف ۱-۲-۲:** به مجموعه‌ای از اجزا که در کنار هم قرار گرفته و در طی زمان بر هم تأثیر متقابل می‌گذارند تا به یک یا چند هدف نایل شوند، **سیستم** گفته می‌شود [۲٤].

**تعریف ۱-۲-۳:** معرفی تجریدی سیستم **مدل** نامیده می‌شود که معمولاً شامل روابط منطقی و یا ریاضی است که سیستم را بر حسب وضعیت های مختلفش تشریح می‌کند.

**تعریف ۱-۲-٤:** به مجموعه‌ای از متغیرها که تمام اطلاعات لازم برای تشریح سیستم در یک لحظه را در بردارند، **حالت سیستم** گفته می‌شود [۱۱].

مثال ۱-۲-۱ را در نظر بگیرید. حالت سیستم، تعداد مشتریان در حال انتظار برای دریافت خدمت در لحظهٔ $t$؛ بیکار یا مشغول بودن خدمت‌کار $A$ در لحظهٔ $t$ و بیکار یا مشغول بودن خدمت‌کار $B$ در لحظهٔ $t$ است.

**تعریف ۱-۲-۵: نهاد** هر جزء از یک سیستم است که معرفی صریح آن در مدل لازم باشد [۲٤].

در مثال ۱-۲-۱ هر خدمت‌کار و هر مشتری یک نهاد هستند. در حقیقت خدمت‌کاران و مشتریان صریحاً مدل‌سازی نمی‌شوند بلکه در قالب متغیرهای حالت در نظر گرفته می شوند.

**تعریف ۱-۲-٦:** خواص هر نهاد مفروض را **ویژگی‌های** آن نهاد گویند [٥].

مثلاً اولویت یک مشتری معین، ترتیب انجام سفارش معین در کارگاه از ویژگی‌های نهاد مفروض است.

**تعریف ۱-۲-۷: مجموعه** جمعی (دائمی یا موقتی) از نهادهای مرتبط است که به طریقی منطقی آراسته شده باشند. مجموعه گاهی فهرست، صف، یا زنجیر نامیده می‌شود [۱۱].

تمام مشتریانی که در حال حاضر در صف انتظارند و به ترتیب ورود یا بر حسب اولویت مرتب شده اند، تشکیل یک مجموعه می دهند.

**تعریف ۱-۲-۸:** رویدادی لحظه‌ای که حالت سیستم را تغییر دهد، **پیشامد** گویند [٥].

پیشامد ورود مشتری؛ پیشامد تکمیل خدمت‌دهی توسط خدمت‌کار $A$ و پیشامد تکمیل خدمت-دهی توسط خدمت‌کار $B$، پیشامدهای مثال ۱-۲-۱ هستند.

**تعریف ۱-۲-۹: فعالیت** فاصله‌ای زمانی با یک طول است. هر فعالیت ممکن است قطعی (مانند یک مدت خدمت‌دهی که همواره ٥ دقیقه طول می‌کشد)، یا احتمالی (مثلاً، ۳±٥ دقیقه با توزیع یکنواخت)، یا هر نوع تابع ریاضی باشد [۲٤].

فعالیت‌ها در مثال ۱-۲-۱ مدت بین دو ورود مشتریان؛ مدت خدمت‌دهی توسط خدمت‌کار A و مدت خدمت‌دهی توسط خدمت‌کار B می‌باشند.