



# بسم الله الرحمن الرحيم

## شبیه سازی کامپیوتری

Dr.Marashifard

Mrmarashifard@mshdiau.ac.ir

اسفند ماه ۱۴۰۱



## پیشگفتار □

✓ شبیه‌سازی چه به صورت دستی و چه به صورت کامپیوتری، تقلیدی از عملکرد سیستم واقعی با گذشت زمان است که به ایجاد، ساختگی تاریخچه سیستم و بررسی آن به منظور دستیابی به نتیجه‌گیری، در مورد ویژگی‌های عملکرد واقعی آن می‌پردازد

✓ شبیه‌سازی اصولاً به شکل مجموعه‌ای از فرض‌های مربوط به عملکرد سیستم در چارچوب رابطه‌های ریاضی و منطقی می‌باشد

✓ شبیه‌سازی یکی از پرکاربردترین ابزارهای موجود در علوم مختلف است که:

- ۱: اجازه ارزیابی عملکرد سیستم را پیش از پدید آمدن می‌دهد
- ۲: مقایسه گزینه‌های گوناگون را بدون ایجاد اختلال در سیستم واقعی میسر می‌کند
- ۳: فشرده‌سازی زمان را به منظور اتخاذ تصمیم‌های به موقع انجام می‌دهد
- ۴: ساختار ساده و استفاده از نرم‌افزارها، استفاده فراوان را امکان‌پذیر می‌کند



# □ شبیه‌سازی در یک نگاه

گردآوری و تحلیل  
صحیح داده‌ها

به کارگیری روش‌های  
تحلیلی

آزمایش و معتبرسازی  
مدل

طراحی مناسب  
تجربه‌های شبیه‌سازی



## □ تعریف شبیه سازی

✓ شبیه سازی تقلیدی از عملکرد، فرایند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است

✓ ابزاری برای پیش بینی تاثیر تغییرات در سیستم های موجود و همچنین ابزاری برای طراحی سیستم های جدید است

## □ کاربردهای شبیه سازی

- ۱: بررسی و آزمایش روابط متقابل هر سیستم یا زیر سیستم های پیچیده
- ۲: مشاهده تاثیر تغییرات اطلاعاتی، سازمانی و محیطی بر رفتار مدل های موجود
- ۳: ارائه پیشنهادهای مفید برای انجام اصلاحات در سیستم مورد مطالعه
- ۴: شناخت متغیرها و چگونگی رابطه متقابل آنها
- ۵: قابلیت استفاده به عنوان ابزاری آموزشی برای بهبود روش های تحلیلی
- ۶: برای آزمایش طرح ها و خط مشی های جدید، پیش از اجرای آنها
- ۷: تحقیق درباره پاسخ های تحلیلی سیستم



## □ مزایای شبیه سازی

- ۱: مدیر سیستم می تواند به منظور تحلیل طرح ها یا خط مشی های پیشنهادی، پس از ساختن هر مدلی به دفعات شبیه سازی را به کار گیرد
- ۲: در مواردی که داده های ورودی، تقریبی یا ناقص باشند، باز هم می توان از شبیه سازی برای تحلیل سیستم استفاده نمود
- ۳: فراهم کردن داده های شبیه سازی کم هزینه تر از داده های واقعی است
- ۴: به کار بردن روش های شبیه سازی در بیشتر موارد بسیار ساده تر از روش های تحلیلی است
- ۵: معمولاً محدودیت هایی که در روش های تحلیلی وجود دارند در شبیه سازی کمتر به چشم می خورد
- ۶: در برخی مواقع شبیه سازی تنها راه یافتن جواب مساله است



## □ معایب شبیه سازی

- ۱: به دلیل پرهزینه بودن و نیاز به زمان، استفاده از مدل های شبیه سازی کامپیوتری ممکن است کارائی بالایی نداشته باشد
- ۲: نیاز به اجرای فراوان برای هر مدل شبیه سازی، باعث افزایش هزینه استفاده از مدل شبیه سازی می شود
- ۳: کاربرانی که تازه با شبیه سازی آشنا می شوند ممکن است برای کاربردهایی که روش های تحلیلی و ریاضی کافی به نظر می رسد، از شبیه سازی استفاده کنند و هزینه زیادی بپردازند



## □ زمینه‌های کاربرد شبیه‌سازی

- ۱: فرودگاه‌ها (کنترل ترافیک، ظرفیت و نگهداری و تعمیر، امکانات حمل و نقل مسافر و ...)
- ۲: حمل و نقل شهری (کنترل چراغ‌های راهنمایی و زمان‌بندی مناسب)
- ۳: عملیات نگهداری و تعمیر
- ۴: شبیه‌سازی در صنایع
- ۵: سیستم‌های اقتصادی کلان
- ۶: جنگ‌های نظامی
- .....





## □ سیستم و محدوده عمل

✓ تعریف سیستم: گروهی از اشیاء است که در راستای تحقق هدفی معین در چارچوب روابط یا وابستگی‌های متقابل، به یکدیگر پیوسته هستند

✓ تعریف محیط سیستم: عواملی خارج از سیستم که تحت کنترل نیستند، ولی می‌توانند بر عملکرد سیستم اثر بگذارند

یک سیستم معمولاً تحت تاثیر تغییراتی است که در خارج از سیستم اتفاق می‌افتد. این تغییرات اصطلاحاً در محیط یا پیرامون سیستم اتفاق می‌افتد. در مدل‌سازی یک سیستم، تصمیم‌گیری نسبت به مرز بین سیستم و محیط سیستم از نکات ضروری و مهم است.

## □ نکته در تعریف سیستم

اگر عوامل بیرونی به طور جزئی سیستم را تحت تاثیر قرار دهند می توان:

۱: تعریف سیستم را گسترش داد تا عوامل بیرونی را در بر بگیرد

۲: عوامل بیرونی را نادیده گرفت

۳: می توان عوامل بیرونی را به عنوان ورودی های سیستم در نظر گرفت

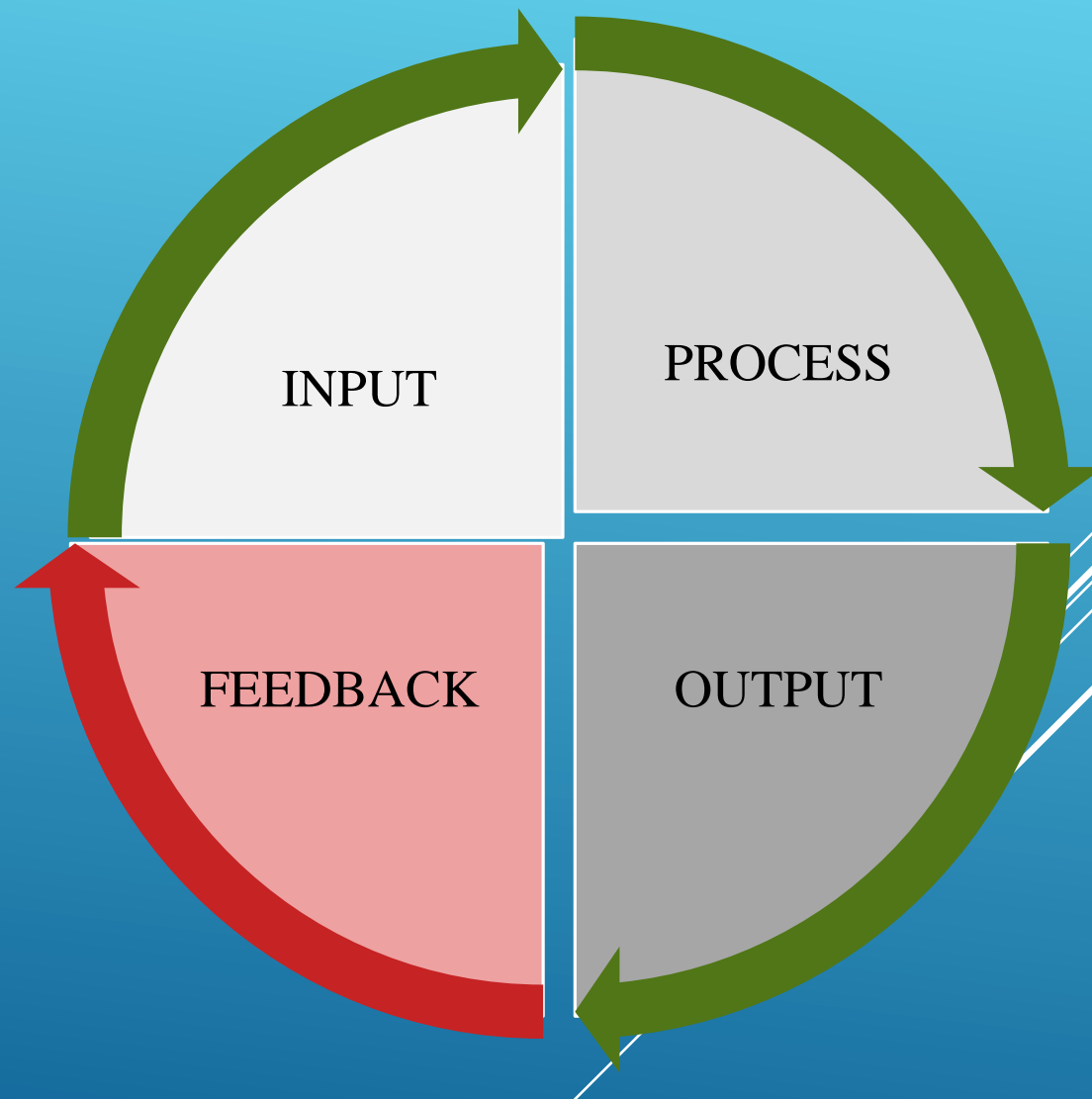
مثال: سیستم کارخانه

عوامل کنترل کننده سیستم ورود سفارش ها، خارج از کنترل کارخانه است

تاثیر عرضه بر تقاضا جزء سیستم می باشد



## □ ارکان سیستم





## □ اجزاء سیستم

۱: نهاد یا موجودیت (Entity):

عنصری مورد توجه در سیستم است

عناصر موقتی که در سیستم جاری شده و دارای دیمانسیون (معادله ابعادی = رابطه بین کمیت‌های اصلی و کمیت‌های فرعی) مشخص هستند

۲: مشخصه یا خصیصه (Attribute):

ویژگی موجودیت است و آن را توصیف می‌کند

۳: فعالیت (Activity):

هر فعالیت بیانگر یک دوره زمانی با طول مشخص است



## □ اجزاء سیستم

۴: وضعیت یا حالت سیستم (State):

مجموعه متغیرهای لازم برای توصیف سیستم در هر لحظه از زمان با توجه به هدف مطالعه سیستم است و معمولاً با مقادیر عددی تخصیصی به مشخصه‌های موجودیت‌ها تعریف می‌شود

۵: واقعه یا پیشامد (Event):

رویدادی لحظه‌ای است که می‌تواند وضعیت سیستم را تغییر دهد



## مثال □

سیستم	نهاد	خصیصه‌ها	فعالیت	پیشامد	متغیرهای حالت
بانک	مشتری	مانده حساب جاری	سپرده‌گذاری	ورود، خروج	تعداد خدمت دهنده‌های مشغول تعداد مشتریان منتظر
قطار سریع‌السیر	مسافر	مبدأ، مقصد	سفر	ورود به ایستگاه رسیدن به مقصد	تعداد مسافران منتظر در هر ایستگاه تعداد مسافران در سفر
موجودی	انبار	ظرفیت	خارج سازی کالا از انبار	تقاضا	سطوح موجودی تقاضای پس‌افت
تولید	ماشین‌ها	سرعت، ظرفیت، آهنگ از کار ماندگی	جوش کاری، برش	از کار ماندگی	وضیعت ماشین‌ها (مشغول، بیکار، از کار افتاده)
ارتباطات	پیام‌ها	طول، مقصد	مخابره	ورود به مقصد	تعداد پیام‌های در انتظار مخابره



## □ مشخصه‌های ثابت و متغیر

مشخصه‌ها، توصیف کننده موجودیت‌ها هستند - مقدار یک مشخصه می‌تواند در طول زمان تغییر کند (مشخصه متغیر) و یا تغییر نکند (مشخصه ثابت) - معمولاً بیشتر علاقمند به مدل کردن مشخصه‌های متغیر هستیم

مثال‌هایی از مشخصه‌های متغیر:

✓ تعداد قطعات در خط مونتاژ

✓ وضعیت یک ماشین

✓ زمان تکمیل مونتاژ

✓ اینکه دکتر مشغول و یا بیکار است

مثال‌هایی از مشخصه‌های ثابت:

✓ مسیر تولید یک محصول

✓ توالی مواردی که می‌بایست روی یک مریض با نوع خاصی از درمان صورت گیرد



## □ مشخصه در خط مونتاژ

موجودیت‌ها	مشخصه‌ها
کارگران	(a) وضعیت کاری بیکار (۰) یا مشغول (۱) (b) ایستگاه‌های کاری تخصیص یافته (۱ و ۲ و ۳ و ...)
ماشین آلات	(a) وضعیت (بیکار (۰)، مشغول (۱)، منتظر تعمیر (۲)، تحت تعمیر (۳)، در حال راه‌اندازی (۴)) (b) عمر (c) زمان عملیات
ایستگاه‌های کاری	(a) تعداد قطعات منتظر در صف (۰، ۱، ۲، ...)
محصولات مونتاژی	(a) موعد تحویل (b) استفرار





## □ مدل سازی

- ✓ مدل سازی یک اقدام مهم در جهت ایجاد یک نمونه ساده شده از یک سیستم کامل با هدف پیش بینی معیارهای قابل اندازه گیری عملکرد سیستم می باشد
- ✓ اصولاً یک مدل به منظور گرفتن جنبه های رفتاری خاص از یک سیستم و کسب آگاهی و بینش از رفتار سیستم طراحی می شود
- ✓ مدل دقیقاً همانند سیستم واقعی نیست، بلکه تنها شامل تعدادی از جنبه های اساسی و کلیدی سیستم است که برای هدف مطالعه سیستم تاثیر گذار هستند، از این رو مدل خلاصه ای از سیستم مورد بررسی است
- ✓ فرایند ساختن مدل برای افراد متخصص و تصمیم گیرندگان مختلف روشی اصولی، صریح و موثر را فراهم می کند تا بتوانند قضاوت و ادراک خود را درباره موضوع متمرکز کنند
- ✓ همچنین با معرفی چارچوبی دقیق، مدل را می توان به عنوان ابزاری موثر در برقرار کردن ارتباط به عنوان کمک در کار تفکر روی موضوع به کار برد



# روش صحیح مدل سازی

۱: شروع با مدلی بسیار ساده

۲: تکمیل تدریجی مدل

به منظور ایجاد مدلی مفید، از یک فرایند دو مرحله‌ای استفاده می‌شود: تجزیه و ترکیب

تجزیه: ساده کردن سیستم از طریق حذف جزئیات یا از طریق پذیرش فرض‌هایی است که روابط حاکم بر عوامل را مهارپذیر می‌کند

عمل ساده کردن عموماً منجر به موارد زیر می‌شود:

✓ تبدیل متغیرها به مقادیر ثابت

✓ حذف یا ادغام متغیرها در یکدیگر

✓ فرض خطی بودن روابط

✓ افزودن محدودیت‌های بیشتر



## □ انواع مدل‌ها

۱: مدل فیزیکی: یک شیء فیزیکی ساده شده با مقیاس کوچک شده می‌باشد (مانند مدل هواپیما)

۲: مدل ریاضی یا تحلیلی: مجموعه‌ای از معادلات و ارتباطات میان متغیرهای ریاضیاتی می‌باشد (مانند مجموعه‌ای از معادلات که توصیف کننده جریان کاری در خط تولید در کارخانه می‌باشد)

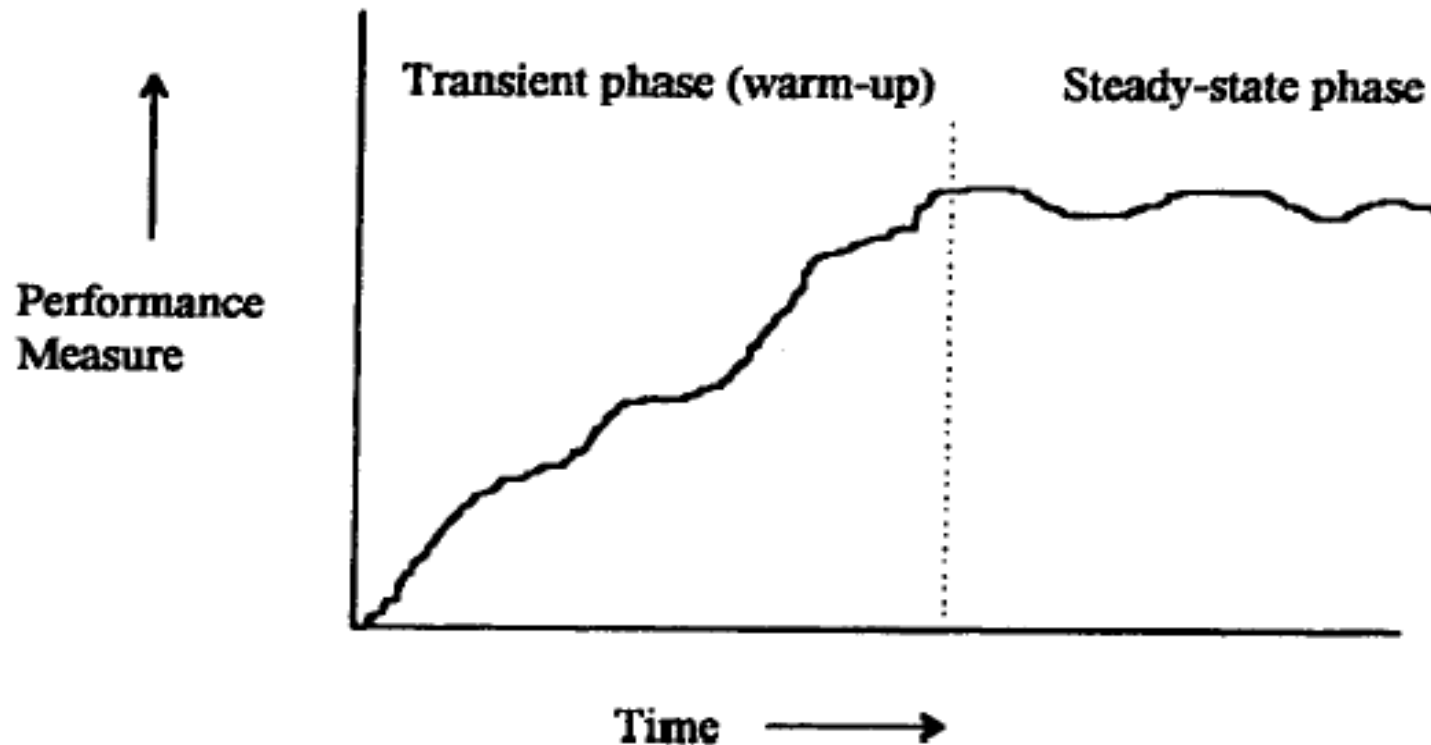
۳: مدل کامپیوتری (شبیه‌سازی): شرح برنامه‌ای از سیستم می‌باشد



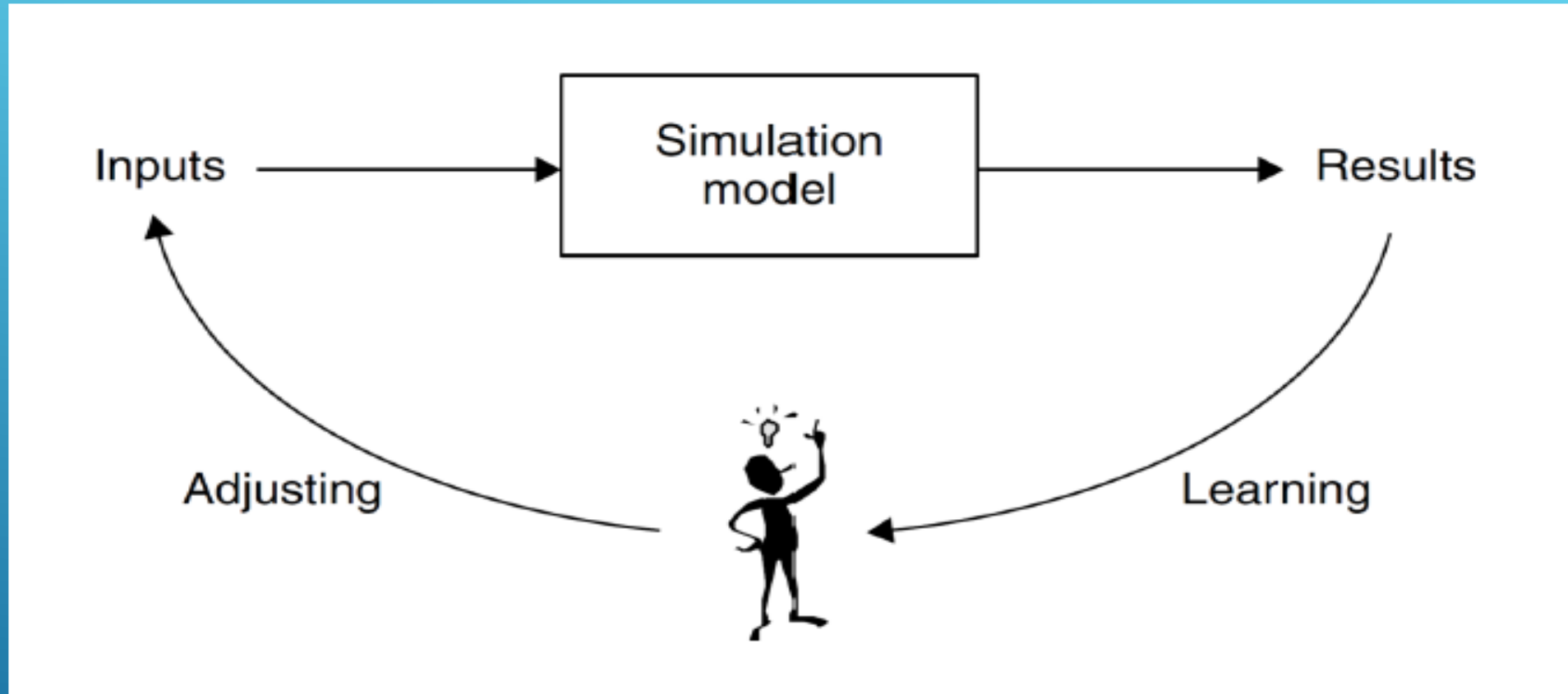
## □ شبیه سازی

- ✓ شبیه سازی بیان رفتار پویای یک سیستم در حالت پایدار به واسطه حرکت آن از یک وضعیت به وضعیت دیگر بر اساس قواعد عملیاتی تعریف شده است
- ✓ اصولاً در شبیه سازی، از کامپیوتر برای ارزیابی عددی یک مدل استفاده می شود و در آن داده ها به جهت تخمین ویژگی های مورد نظر مدل جمع آوری می شوند
- ✓ شبیه سازی کامپیوتری در عام ترین معنایش فرایند طراحی مدل ریاضی - منطقی از سیستم واقعی و آزمایش این مدل با کامپیوتر است
- ✓ فرایند مدل سازی با استفاده از روابط ریاضی - منطقی و همچنین اجرای مدل بوسیله کامپیوتر را شبیه سازی کامپیوتری می گویند

# □ حالت پایدار Steady State



## شبیه سازی به عنوان یک سیستم □



Adjusting = تنظیم



## □ مدل‌های شبیه‌سازی

۱: مدل ایستا: این مدل به شبیه‌سازی مونت کارلو نیز معروف است که معرف سیستم در لحظه خاص از زمان است

۲: مدل پویا: مدل را با توجه به تغییر زمان معرفی می‌کنند (مانند شبیه‌سازی بانک از ۸ صبح تا ۲ بعد از ظهر)

۳: مدل قطعی: مدل‌های شبیه‌سازی که در آنها متغیر تصادفی وجود ندارد؛ در این مدل‌ها در صورت حضور ورودی‌ها به صورت قطعی خروجی سیستم مشخص است (مانند سیستم مطب دندان پزشکی که از قبل به بیماران وقت داده و در موقع معین شده بیمار درمان می‌شود)

۴: مدل گسسته: مدل‌هایی که متغیر حالت آنها در مجموعه‌ای از مقاطع گسسته تغییر می‌کند

۵: مدل پیوسته: مدلی که متغیر حالت آنها پیوسته می‌باشد



# مثال شبیه‌سازی پیوسته: صید و صیاد (کوسه و ماهی)

فرضیات مساله:

✓ تعداد جمعیت صیاد در لحظه  $t$  ---  $Y(t)$

✓ تعداد جمعیت صید در لحظه  $t$  ---  $X(t)$

✓ جمعیت صید از منبع غذایی کافی برخوردار است

✓ در صورت عدم وجود جمعیت صیاد، جمعیت صید با آهنگ رشد  $rX(t)$  توسعه یابد  $r > 0$

رابطه بین جمعیت صید و جمعیت صیاد  $X(t)Y(t)$

آهنگ کلی تغییر در جمعیت صید  $dx/dt$  -----  $dx/dt = rX(t) - aX(t)$

جمعیت صیاد برای بقای خود به جمعیت صید متکی است در صورت نبود صید آهنگ تغییر جمعیت صیاد  $-SY(t)$  - می‌شود ( $S > 0$ )

آهنگ افزایش جمعیت صید با  $X(t)Y(t)$  نسبت مستقیم دارد

آهنگ کلی جمعیت صیاد -----  $dx/dt = -SY(t) + bX(t)Y(t)$

نتایج

هرگاه جمعیت صیاد رو به افزایش باشد ----- جمعیت صید کاهش می‌یابد

کاهش جمعیت صید ----- کند شدن آهنگ افزایش جمعیت صیاد

کاهش جمعیت صیاد ----- افزایش جمعیت صید





## □ کامپیوتر در شبیه سازی

کامپیوتر داده های مورد نظر را در ارتباط با موجودیت های شبیه سازی شده ثبت و یک نمونه ترکیبی از داده های عملکردی سیستم را ایجاد می کند

سپس مفاهیم آماری (برای تحلیل این نمونه داده ها در ارتباط با کمیت های مختلفی چون موارد زیر) مورد استفاده قرار می گیرد:

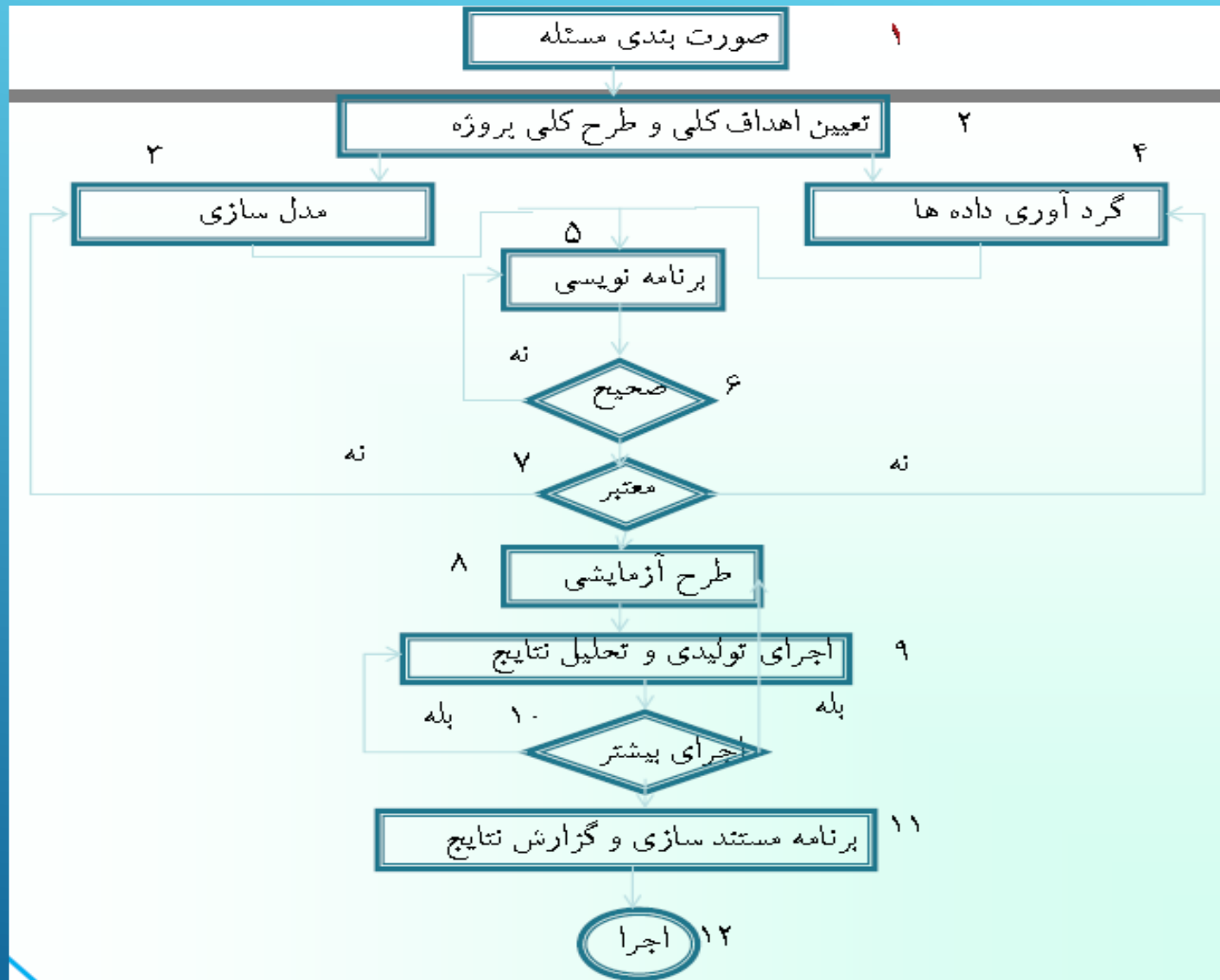
- ✓ زمان های انتظار
- ✓ توان عملیاتی
- ✓ طول صف
- ✓ زمان های پردازش
- ✓ میزان استفاده از منابع
- ✓ ...



## □ مراحل ساخت مدل شبیه‌سازی

- ۱- فرمول‌بندی و تعریف مساله
- ۲- تعیین اهداف و طرح کلی پروژه
- ۳- تحلیل مساله
- ۴- جمع‌آوری داده و اطلاعات
- ۵- ساخت مدل
- ۶- معتبرسازی مدل
- ۷- طراحی و اجرای آزمایش‌های شبیه‌سازی
- ۸- تحلیل خروجی
- ۹- تفسیر و مستندسازی
- ۱۰- اجراء

# گام‌های اساسی در بررسی مبتنی بر شبیه‌سازی





# □ انواع شبیه سازی

۱- گسسته (Discrete Event System Simulation)

۲- پیوسته (Continuous System Simulation)

شبیه سازی سیستم های گسسته پیشامد:

شبیه سازی سیستمی است که متغیرهای حالت آن فقط و فقط در نقاط گسسته ای از زمان "در لحظه وقوع رویداد" اتفاق می افتد

✓ در حقیقت وضعیت چنین سیستمی در لحظه های گسسته ای از زمان به روز رسانی می شود



## □ نرم افزارهای شبیه سازی

پیچیده بودن شبیه سازی سیستم های واقعی، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری را باعث می شود

در اصل نرم افزارهای کامپیوتری چارچوبی را برای ساخت مدل ها فراهم می کنند که کار مدل سازی را نسبت به موارد زیر راحت می کنند:

- ✓ چگونگی پردازش ورودی ها
- ✓ عملیات ثبت داده ها
- ✓ گزارش های خروجی
- ✓ تسهیل در تولید داده های تصادفی
- ✓ جمع کردن داده ها در متغیرهای خروجی



## □ نمونه نرم افزارهای شبیه سازی

ردیف	نرم افزار شبیه ساز
۱۰	Omnet
۱۱	Matlab
۱۲	Iotify
۱۳	Labview
۱۴	EvEng
۱۵	Cupcarbon
۱۶	Rhinot
۱۷	Glomosim
۱۸	Flexsim

ردیف	نرم افزار شبیه ساز
۱	NS3
۲	NS2
۳	GNS3
۴	Packet Tracer
۵	GreenCloud
۶	IcanCloud
۷	CloudSim
۸	NetSim
۹	Opnet



## □ مثال‌هایی از شبیه‌سازی

مثال‌های شبیه‌سازی با برداشتن سه گام انجام می‌شوند:

۱: ویژگی‌های هر یک از ورودی‌های شبیه‌سازی را تعیین کنید

۲: یک جدول شبیه‌سازی ایجاد کنید:

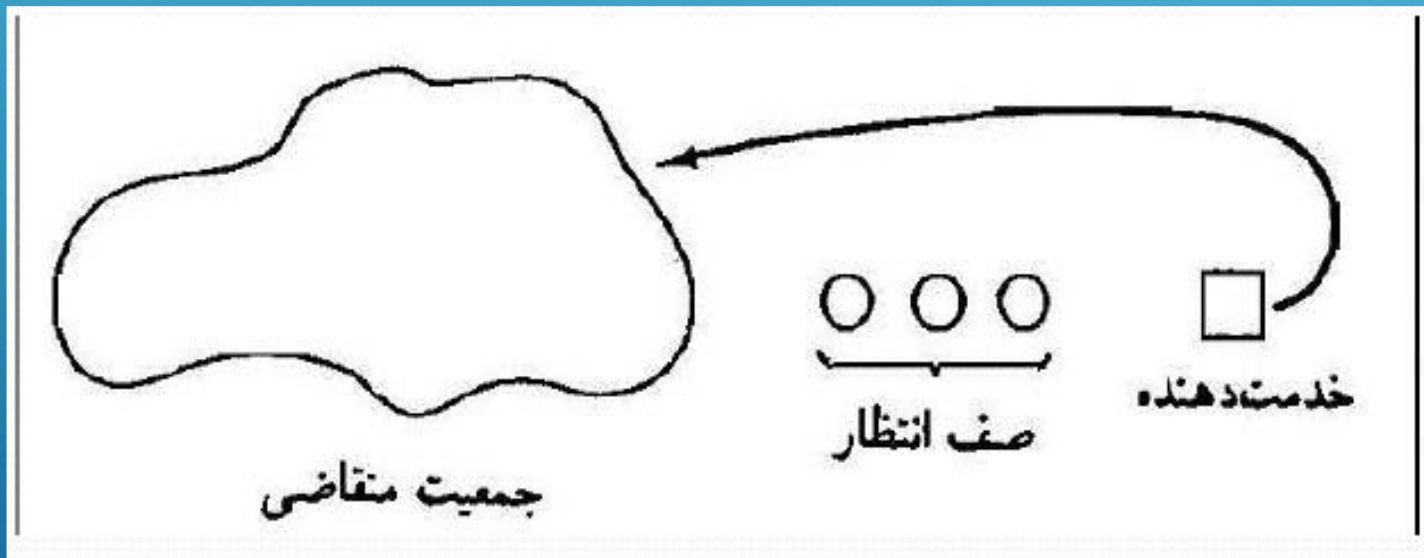
دفعات تکرار	ورودی‌ها $x_{i1}$ $x_{i2}$ ... $x_{ij}$ ... $x_{ip}$	پاسخ ( $y_i$ )
۱		
۲		
۳		
...		
...		
...		
n		

۳: در نوبت  $i$ ام تکرار، مقداری برای هر یک از  $P$  ورودی تولید و تابع محاسبه کننده مقدار پاسخ  $Y_i$  را ارزیابی کنید

## □ شبیه سازی سیستم های صف

سیستم صف با موارد زیر مشخص می شود:

- ✓ جمعیت متقاضی
- ✓ چگونگی ورود و خدمت دهی
- ✓ ظرفیت سیستم
- ✓ نظام صف







## □ مفاهیم صف

✓ حالت سیستم:

تعداد حاضران در سیستم

وضعیت خدمت دهنده (مشغول یا بیکار)

✓ پیشامد:

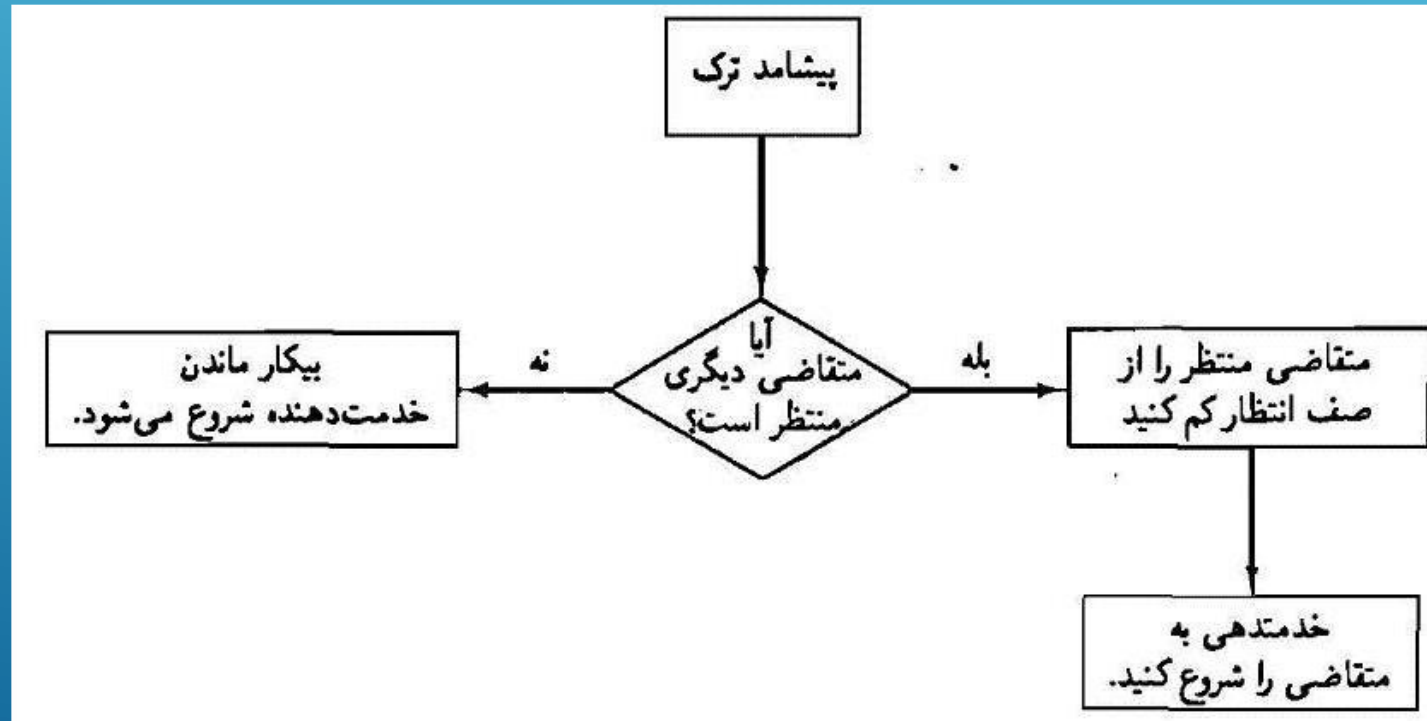
شرایطی که موجب تغییری لحظه‌ای در حالت سیستم شود دو پیشامد دارد: ۱- پیشامد ورود ۲- پیشامد خروج

## □ مفاهیم صف

✓ دیاگرام جریان مربوط به خدمت دهی تازه تکمیل شده خدمت دهنده دو وضعیت دارد:

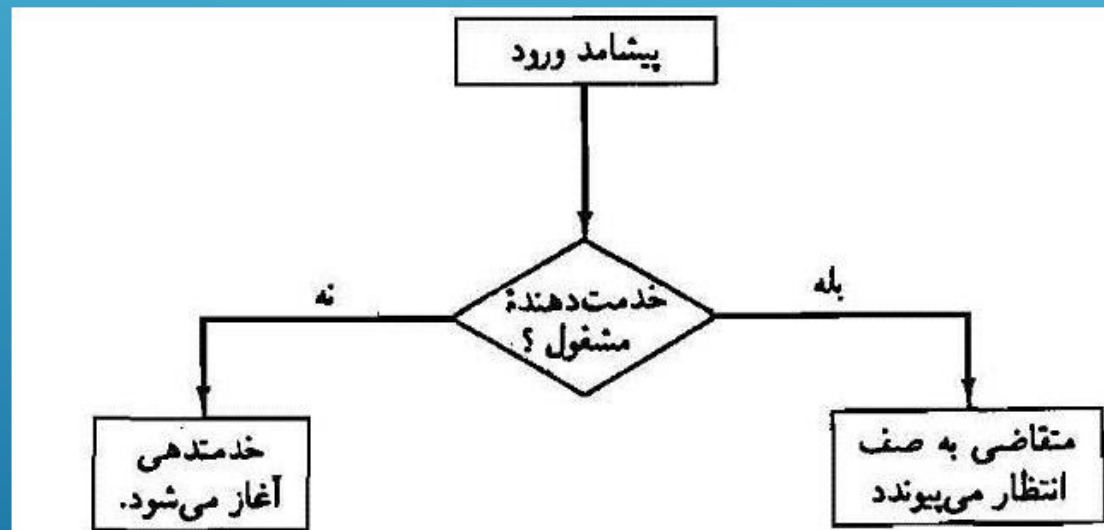
۱- مشغول

۲- بیکار



## □ مفاهیم صف

✓ دیاگرام جریان ورود به سیستم





## مفاهیم صف ☐

✓ عملیات هنگام ورود یک متقاضی:

		وضعیت صف	
		غیر خالی	خالی
وضعیت خدمت دهنده	مشغول	ورود به صف	ورود به صف
	بیکار	غیر ممکن	شروع خدمت دهی

✓ وضعیت خدمت دهنده پس از تکمیل خدمت دهی:

		وضعیت صف	
		غیر خالی	خالی
وضعیت خدمت دهنده	مشغول	<del>ناممکن</del>	ناممکن
	بیکار	ناممکن	<del>ناممکن</del>



## □ مفاهیم صف

✓ اگر صف خالی نباشد، متقاضی دیگری به خدمت دهنده می‌رسد و خدمت دهنده مشغول می‌ماند

✓ اگر صف خالی باشد پس از کامل کردن خدمت دهی، خدمت دهنده بیکار خواهد شد (قسمت هاشور خورده)

✓ با کامل شدن هر خدمت دهی، اگر صف خالی باشد، امکان ندارد که خدمت دهنده مشغول بماند

✓ همچنین پس از کامل شدن خدمت دهی، اگر صف خالی نباشد، امکان ندارد که خدمت دهنده بیکار بماند



1. Discrete Event System Simulation, Jerry Banks et al, Fourth Edition, 2005, Prentice-Hall
2. Handbook of Simulation, Edited by Jerry Banks, 1998, John-Wiley
3. Stochastic Discrete Event Systems, Armin Zimmermann, 2008, Springer
4. Simulation: The Practice of Model Development and Use, Robinson, 2004, John-Wiley
5. Simulation and the Monte Carlo method, Second Edition, Rubinstein and Kroese, Second Edition, 2008, John-Wiley
6. An Introduction to Computer Simulation, Woolfson and Pert, 1998, Oxford University Press
7. Simulation modeling: Handbook A Practical Approach, Chung, 2004, CRC Press
8. Simulation Modeling and Analysis with Arena, Altiook and Melamed, 2007, Academic Press
9. Computer Simulation Techniques: The definitive introduction, Harry Perros, Computer Science Department, NC state university, Raleigh, NC, 2008, <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/perros/simulation.pdf>

۱۰. شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد، هاشم محلوچی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف
۱۱. علم و هنر شبیه‌سازی ترجمه علی اکبر عرب مازار، مرکز نشر دانشگاهی
۱۲. آموزش شبیه‌سازی عملیات با Arena، شهروز انتظامی و عبدالوحید خراسانی، انتشارات ناقوس