

## شبیه سازی

### مقدمه

انسان برای رفع نیازهای خویش سیستم های متنوعی اعم از تولیدی و خدماتی را بوجود آورده است. این سیستمها در طول زمان رشد و توسعه یافته‌اند و به نوبه خود مسائل و مشکلات مختلفی را هم ایجاد نموده‌اند. از طرف دیگر پیچیدگی های این سیستم ها فرایند تصمیم‌گیری، هدایت و کنترل را برای افراد مسئول بسیار حساس و مشکل ساخته است. لذا برای حل مسائل و مشکلات و در نهایت کمک به مسؤلان به منظور شناخت و بهبود عملکرد و تصمیم‌گیری در مورد سیستم ها ، روشها و تکنیک‌های متفاوتی بوجود آمده اند که بکارگیری آنها بستگی به نوعی سیستم و مشکل مربوطه دارد . تجزیه و تحلیل های ریاضی مشاهده عینی و تجربی و فنون مختلف پژوهش عملیاتی را می‌توان نمونه‌ای از این روشها دانست. طبیعی است که هر یک از روشهای مذکور دارای نقاط قوت و محدودیت‌هایی می‌باشند و بکارگیری همه آنها در مورد یک سیستم خاص نه بسادگی امکان پذیر است و نه نتیجه مشابه خواهد داشت. یکی دیگر از روشهایی که برای شناخت وضع موجود و بهبود عملکرد سیستمها بوجود آمده، شبیه سازی است که در این فصل به معرفی آن می‌پردازیم. شبیه سازی یکی از پر قدرترین و مفید ترین ابزارهای تحلیل عملکرد فرایندهای پیچیده سیستمها است. هر مهندس یا مدیری که بخواهد اطلاعاتش را کامل کند باید با این روش آشنا باشد. مدلسازی از طریق شبیه سازی تاحد زیادی به علوم کامپیوتر، ریاضیات ، احتمالات و آمار متکی است.

چون شبیه سازی نوعی مدلسازی سیستم است لذا در بخش نخست سیستم ها و سپس مدلها و در نهایت شبیه سازی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

### ۱ - سیستمها

برای آشنایی با مفهوم سیستم ابتدا مثالهای از سیستم را ارائه می‌کنیم و سپس با جزئیات بیشتر به بحث خواهیم پرداخت. به تشکیلات یک بانک توجه کنید. یک بانک تعدادی انسان، ماشین، دفاتر، کامپیوتر، مقررات اداری و قوانین پولی و اقتصادی است که همه به نوعی وابسته به یکدیگر بوده و با اثر گذاشتن بر هم بمنظور ارائه خدمات بانکی و کسب درآمدهای اقتصادی دارای وحدت و هماهنگی هستند. یک واحد تولیدی، مثلاً تولید اتومبیل، مثال دیگری از سیستم است. در این واحد هم تعداد زیادی از مهندسين، کارگران، ماشین

آلات، قوانین کار، فرمولهای مهندسی، مواد اولیه و قوانین تولید گرد هم آمده و هریک در راه هدف نهایی، یعنی در تولید دارای نقشی بوده و در اجرای این نقش از دیگران تأثیر پذیر و بر دیگران تأثیر گذار می‌باشند. مسلماً هدف از ایجاد یک سیستم یا اداره یک سیستم موجود، کسب بهترین نتایج حاصل از آن است. لذا در مورد سیستم‌های موجود باید تأثیر اجزاء آن بریکدیگر، قوانین و رابطه‌های حاکم بر آن و دیگر خصوصیات آنرا شناخت. و اگر هدف ایجاد یک سیستم است باید بهترین تعداد و ترکیب اشیاء و مؤثرترین قوانین را برای آن انتخاب نمود. اما انتخاب بهترین‌ها خود مستلزم شناخت رفتار سیستم با ترکیبات و قوانین متفاوت می‌باشد. در هر حال لازمه ایجاد یا اداره مطلوب یک سیستم، بررسی و تجزیه و تحلیل آن است. بطور کلی سیستم را می‌توان چنین تعریف کرد: "مجموعه‌ای از اشیاء با مشخصه‌های معلوم، که روابط بین آنها و قوانین حاکم بر آنها مشخص است. اشیاء یک سیستم ممکن است دائمی یا موقت باشند." مثلاً در یک سیستم تولیدی، ماشین‌های تولیدی جزء اشیاء دائمی و مواد اولیه و یا تولیدات از اشیاء موقت سیستم بشمار می‌روند. هر یک از اشیاء دائمی یا موقت دارای یک یا چندین مشخصه هستند. اما در یک بررسی تنها آن دسته مشخصه‌هایی که در ارتباط با هدف بررسی بوده و نتایج از آنها تأثیر پذیر است مدنظر قرار گرفته و بعنوان مشخصه در مدل سیستم گنجانیده میشوند. به چگونگی اشیاء، مشخصات و روابط یک سیستم در یک لحظه زمانی وضعیت سیستم در آن لحظه می‌گویند. اغلب، تغییرات خارجی سیستم مؤثر واقع شده و بعضی تغییرات در سیستم دارای اثراتی بر عوامل خارجی هستند. مجموعه این گونه عوامل خارجی را که بر سیستم مؤثر و یا از آن تأثیر پذیرند محیط سیستم خوانند. همراه با گذر زمان مقدار بعضی از مشخصه‌های اشیاء سیستم تغییر می‌یابند. این تغییرات نسبت به زمان ممکن است بصورت پیوسته یا ناپیوسته باشد. بطور مثال در یک سیستم بانک تعداد مشتریها یکی از مشخصه‌های سیستم است که تغییرات آن بصورت ناپیوسته با ورود و خروج مشتریها صورت می‌گیرد. یک ورود باعث افزایش آن و یک خروج باعث کاهش آن می‌گردد. در عوض یک تصفیه خانه را در نظر بگیرید. مایعات تصفیه نشده و تصفیه شده از اشیاء سیستم بوده و مقدار آنها مشخصه‌ای برای سیستم هستند. تغییرات این مشخصه با گذر زمان ارتباط پیوسته‌ای دارد. به این نوع سیستم، سیستم پیوسته و به سیستم مثال قبل یک سیستم گسسته گویند.

## ۲ - مدلها

همانطور که گفته شد برای مطالعه و تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، روشهای متفاوتی وجود دارد. در مطالعه تجربی یکی سیستم، متغیرها تغییر داده شده و تاثیر آنها بر روی سیستم مشاهده می‌شود. اما تعداد سیستمهای که بتوان این روش را برای بررسی آنها بکار برد بسیار محدودند. زیرا اولاً تغییر یک متغیر در یک سیستم ممکن است باعث دگرگونی سیستم و لذا بی اعتباری بررسی و نتایج حاصل از آن گردد. ثانیاً ایجاد تغییر برای مشاهده عکس العمل رفتاری در همه سیستم ها عملی نیست. علاوه بر این، این روش، زمانیکه طراحی و ایجاد یک سیستم جدید در کار بوده و برای رسیدن به نتیجه مطلوب باید رفتار آن مورد بررسی قرار گیرد، بی معنی خواهد بود. در اینگونه موارد از یک الگو یا مدلی از سیستم که شامل اطلاعات لازم برای بررسی و تجزیه و تحلیل آن باشد استفاده می‌کنند.

بطور کلی مدل را می‌توان چنین تعریف کرد «مدل، ترکیب مناسبی از خصوصیات یک سیستم و اطلاعات مربوط به آن است که به منظور بررسی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.» معمولاً نوع بررسی، مدل و میزان اطلاعات قرار داده شده در آنرا تعیین می‌کند. لذا ممکن است بررسی های متفاوت، مدل های متفاوتی از یک سیستم را لازم داشته باشد. بعبارت دیگر سیستم ها در بررسی های گوناگون دارای یک مدل منحصر بفرد نیستند. مسئله ای که در اینجا پیش می‌آید، فراگیری جزئیات سیستم بوسیله مدل و یا میزان نزدیک بودن مدل به واقعیت است. به بیان دیگر در موقع مدلسازی دو سؤال مطرح می‌گردد:

— در مدل کدامیک و به چه اندازه خصوصیات و جزئیات سیستم باید وجود داشته باشد؟

— میزان شباهت مدل به سیستم واقعی چقدر است؟

مسلماً هرچه جزئیات بیشتر از سیستم در مدل گنجانده شود، شباهت زیادتری به سیستم واقعی پیدا نموده و رفتار آنرا بهتر نمایش می‌دهد. در این صورت اگر نتیجه‌ای از مطالعه و بررسی مدل حاصل گردد، به واقعیت نزدیکتر و لذا بکارگرفتن آن در سیستم واقعی عملی‌تر است. از طرف دیگر، وجود جزئیات بیشتر در مدل سبب مشکل تر نمودن مطالعه و رسیدن به نتیجه می‌گردد. اغلب افزودن جزئیات بیش از حد به یک مدل باعث تغییر روش بررسی شده و کلیت بحث از دست می‌رود. بالعکس از قلم انداختن بعضی جزئیات، تجزیه و تحلیل مدل را ساده‌تر و راه رسیدن به نتیجه را آسانتر و کوتاه تر می‌نماید و از طرف دیگر نتایج حاصل را

از واقعیت‌ها دورتر و بکارگیری آنها را در سیستم واقعی بی‌ثمر خواهد ساخت. بهر حال، در مدل سازی معیاری برای قابل قبول بودن شمول جزئیات یک مدل قبل از بکارگیری نتایج در واقعیت وجود ندارد. از مسئولیت‌های تحلیل‌گر است که در ساخت مدل و گنجاندن جزئیات سیستم در آن، با توجه به دقت مورد نیاز در نتایج، جانب تعادل و اعتبار را رعایت کند. این تعادل باید به گونه‌ای باشد که اولاً بوسیله تکنیکها و وسایل موجود، بررسی مدل امکان پذیر بوده و ثانیاً نتایج بررسی منطبق یا نزدیک به واقعیت باشد. فرایند یک مدل سازی مطلوب در زیر نشان داده شده است.

مدلهایی که برای مطالعه سیستمها ساخته و بکار برده میشوند، با توجه به خصوصیات عمومی شان بطرق مختلف دسته بندی می‌شوند. با این دسته بندیها نه تنها انواع مدلها از یکدیگر متمایز می‌سازند، بلکه روش‌هایی برای بررسی هر گروه تعیین می‌کنند. در مرحله اول مدلها را میتوان به دو دسته فیزیکی و ریاضی تقسیم نمود. مدل‌های فیزیکی، شامل خصوصیات عمده و فیزیکی سیستم واقعی بوده و تنها از مقیاس کوچکتری برخوردارند. مدل‌های ریاضی که خود به دو دسته متمایز بنام های سمبولیک و گرافیک تقسیم می‌شوند، با بکار بردن سمبولها یا گرافها و چارتهای سیستم را نمایش می‌دهند. در مدل‌های ریاضی، مشخصه‌های سیستم به وسیله متغیرها، و روابط موجود بین آنها نمایش داده می‌شوند. در یک تقسیم بندی دیگر مدلها، اعم از فیزیکی یا ریاضی، بدو دسته ایستا و پویا تقسیم می‌گردند. در یک مدل ایستا، یا بعد زمان بطور کلی نادیده گرفته می‌شود یا وضعیت یک سیستم در یک لحظه زمانی بطور ایستا نشان داده می‌شود. در مقابل، یک مدل پویا به طور صریح گذر زمان را شامل بوده و رابطه وضعیت سیستم و زمان را به نمایش می‌گذارد. مدل‌های ریاضی با یک دیدگاه دیگر شامل مدل‌های تحلیلی و عددی می‌شوند. این تقسیم بندی بیشتر با توجه به روش بررسی مدل و کسب نتایج انجام شده است. بالاخره نوع دیگر تقسیم بندی مدلها، بصورت قطعی و احتمالی است. کلیه تغییرات در یک مدل قطعی، معین و براساس روابط غیر احتمالی صورت می‌گیرد، اما در یک مدل احتمالی، حداقل قسمتی از تغییرات یا روابط، تصادفی و احتمالی است. نمودار زیر دسته بندی مدلها را نشان می‌دهد.

### ۳- شبیه سازی

همانطور که ذکر شد یکی از روشهای تجزیه و تحلیل سیستمها ، شبیه سازی است . این که مفهوم دقیق شبیه سازی چیست و چه موقع از آن استفاده می شود و دارای چه کاربردهایی است و چه مزایا و معایبی دارد و دارای چه فرایندی است ، بحث هایی هستند که در این بخش به آنها خواهیم پرداخت.

برخلاف بسیاری از علوم فنی که می توانند برحسب رشته ای که منشاء آنها است رده بندی شوند (مانند فیزیک یا شیمی) ، شبیه سازی در تمام رشته ها قابل استفاده است . انگیزه اصلی شبیه سازی ریشه در برنامه های فضایی دارد ، اما حتی یک بررسی غیر رسمی نوشته های مربوط به شبیه سازی ، می تواند زمینه وسیع کاربردهای فعلی آن را نشان دهد. به عنوان مثال رابرت شانون در کتاب خود (علم و هنر شبیه سازی سیستمها) از کتابهایی که در رابطه با کاربرد شبیه سازی در موارد زیر نوشته شده اند نام می برد . این موارد عبارتند از بازرگانی ، اقتصاد ، بازاریابی ، تعلیم و تربیت ، سیاست ، علوم اجتماعی ، علوم رفتاری ، روابط بین الملل ، ترابری ، نیروی انسانی ، اجرای قوانین ، مطالعات شهری و سیستم های جهانی. بعلاوه تعداد بیشمار مقالات فنی ، گزارشها و رساله های دوره دکترا و کارشناسی ارشد ، تقریباً در همه زمینه های اجتماعی ، اقتصادی ، فنی و انسانی ، گواه بر تأثیر و رشد گسترده استفاده از شبیه سازی در تمام جنبه های زندگی دارد.

#### تعریف شبیه سازی :

از شبیه سازی تعاریف زیادی ارائه شده است اما جامعترین و کاملترین تعریف را شانون ارائه داده است. شانون شبیه سازی را چنین تعریف می کند «شبیه سازی عبارت از فرایند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایشهایی با این مدل است که با هدف پی بردن به رفتار سیستم ، یا ارزیابی استراتژیهای گوناگون (در محدوده ای که به وسیله معیار و یا مجموعه ای از معیارها اعمال شده است) برای عملیات سیستم ، صورت می گیرد.» بنابراین در می یابیم که فرایند شبیه سازی ، هم شامل ساختن مدل و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. در تعریف فوق ، سیستم واقعی به معنای سیستمی که وجود دارد یا قابلیت ایجاد شدن را دارد ، بکار رفته است. قبل از پرداختن به مسائل دیگر شاید بهتر باشد که برای تشریح مفهوم شبیه سازی به مثال ساده ای توجه کنیم. سیستم باجه پرداخت پول یک بانک را در نظر بگیرد. فرض

کنید که یک نفر در قسمت پرداخت پول کار می‌کند. و همچنین فرض کنید که زمان بین ورود مشتریان روی ۱ تا ۱۰ دقیقه بطور یکنواخت توزیع شده باشد (برای سادگی، اندازه تمام زمانها را به نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌کنیم). همچنین فرض کنید که زمان لازم برای خدمت به هر مشتری روی ۱ تا ۶ دقیقه به طور یکنواخت توزیع شده است. می‌خواهیم متوسط مدت زمانی را که مشتری در سیستم صرف می‌کند، اعم از زمان انتظار مشتری و زمان خدمت و درصد مدت زمانی را که صندوقدار مشغول به کار نیست محاسبه کنیم. برای شبیه‌سازی کردن این سیستم نیاز داریم آزمایشی ساختگی که معرف وضعیت بالا باشد، بوجود آوریم. بدین‌منظور باید روشی برای تولید مراجعه ساختگی گروهی از مشتریان و زمان لازم برای خدمت به هر یک از آنها را ایجاد کنیم. در یکی از روشهایی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد کار را با ۱۰ مهره و یک تاس آغاز می‌کنیم. سپس مهره‌ها را از یک تا ده شماره گذاری کرده، آنها را داخل ظرفی می‌گذاریم و با تکان دادن ظرف آنها را قاطی می‌کنیم. با استخراج یک مهره از داخل ظرف و خواندن عدد روی آن می‌توان زمان بین ورودی مشتری فعلی و قبلی را مشخص کرد. زمان خدمت به این مشتری را نیز می‌توان با پرتاب تاس و خواندن تعداد نقطه‌های روی وجه فوقانی آن به دست آورد. با تکرار این عملیات (با جایگذاری مهره‌ها در داخل ظرف و تکان دادن آن بعد از هر بار استخراج) ما ورود و زمانهای خدمت یک گروه از مشتریان فرضی را تولید کرده‌ایم. جدول زیر نشان می‌دهد که نمونه‌ای با ۱۵ مشتری چه شکلی خواهد داشت.

مشتری مدت زمان بین دو ورود مدت زمان زمان شروع خدمت زمان پایان خدمت مدت زمان

انتظار زمان تلف شده

مشتری	(به دقیقه)	(به دقیقه)	خدمت (به دقیقه)	متوالی (به دقیقه)	صندوقدار	
۰	۱	۰۱:	۰۰:	۰۰:	۱	—
۲	۴	۰۷:	۰۳:	۰۳:	۴	۳
۳	۴	۱۴:	۱۰:	۱۰:	۴	۷
۰	۳	۱۶:	۱۴:	۱۳:	۲	۳

۶	۱	۲۳:	۲۲:	۲۲:	۱	۹	۵
۹	۵	۳۷:	۳۲:	۳۲:	۵	۱۰	۶
۱	۴	۴۲:	۳۸:	۳۸:	۴	۶	۷
۴	۶	۵۲:	۴۶:	۴۶:	۶	۸	۸
۲	۱	۵۵:	۵۴:	۵۴:	۱	۸	۹
۷	۳	۰۵:۱	۰۲:۱	۰۲:۱	۳	۸	۱۰
۴	۵	۱۴:۱	۰۹:۱	۰۹:۱	۵	۷	۱۱
۰	۷	۱۹:۱	۱۴:۱	۱۲:۱	۵	۳	۱۲
۱	۳	۲۳:۱	۲۰:۱	۲۰:۱	۳	۸	۱۳
۱	۶	۳۰:۱	۲۴:۱	۲۴:۱	۶	۴	۱۴
۰	۳	۳۱:۱	۳۰:۱	۲۸:۱	۱	۴	۱۵
۴۱	۵۶	جمع					

دقیقه  $۳/۷۳ = ۵۶۱۵ =$  متوسط مدت زمان انتظار مشتری

$۰/۴۵ = ۱۰۰ * ۴۱۹۱ =$  درصد وقت تلف شده صندوقدار

توجه کنید که ۹۱ کل زمانی است که سیستم شبیه سازی شده است . چون زمان پایان خدمت آخرین مشتری در ساعت یک

و ۳۱ دقیقه خاتمه یافته است پس کل زمانی که سیستم شبیه سازی شده  $۹۱ = ۳۱ + ۶۰$  دقیقه می باشد.

مسلماً برای اینکه مثال بالا از لحاظ آماری معنی دار باشد مجبوریم از نمونه‌ای با حجم بزرگتر

استفاده کنیم. لازم به تذکر است که در این مثال چندین مطلب مهم از قبیل شرایط شروع ، که بعداً مورد بحث

قرار خواهد گرفت ، نادیده گرفته شده است . نکته مهم در اینجا این است که با استفاده از دو وسیله برای

تولید اعداد تصادفی (مهره‌های شماره گذاری شده و تاس) آزمایش ساختگی (شبیه سازی شده) برای سیستمی

که بتوانیم بعضی از مشخصات رفتاری آن را مورد بررسی قرار دهیم ایجاد کرده ایم.

## چه موقع از شبیه سازی استفاده کنیم؟

مسئله یا مسائل مورد نظر در بررسی یکی سیستم اغلب روش بررسی و حل آنرا تعیین می کنند. روشهای تحلیل ریاضی هر جا که ممکن باشد، مطلوب ترین و دقیق ترین روشها برای مطالعه سیستمها می باشند، زیرا این روشها معمولاً با کمترین کوشش، جوابها یا نتایجی را تولید می کنند که برای مقادیر مختلف پارامترهای مدل قابل محاسبه بوده و میزان دقت آنها صد درصد می باشد. اما جائیکه روشهای تحلیلی، بعلت پیچیدگی مدلها یا نیاز به تولید واقعی تر رفتار سیستم غیر عملی است، روشهای مطالعه سیستم از طریق شبیه سازی مطرح می گرد. شبیه سازی به عنوان آزمایش کردن با مدل یک سیستم واقعی تعریف می شود. یک مسئله آزمایشی، موقعی پدید می آید که به اطلاعات بخصوصی درباره یک سیستم نیاز بوده و آنها را از منابع موجود نتوان تهیه کرد. آزمایش کردن روی سیستم واقعی، مشکلات زیادی را که در تطبیق دادن مناسب مدل باشرایطی واقعی وجود دارد از بین می برد. شانون در کتاب خود به نقل از بریش معایب آزمایش مستقیم را چنین بیان می کند:

- ۱ - می توانند عملیات سازمان را مختل کنند.

- ۲ - اگر مردم جزء جدا نشدنی سیستم باشند، نتایج حاصل ممکن است متأثر از «اثر هائورن» باشند، یعنی مردم به علت تحت نظر بودن، ممکن است رفتارشان را تغییر دهند.

- ۳ - ممکن است یکسان نگهداشتن شرایط عمل برای هر بار تکرار یا اجرای آزمایش بسیار مشکل باشد.

- ۴ - به دست آوردن حجم نمونه ای یکسان (و در نتیجه معنی دار بودن آماری) ممکن است به زمان و هزینه زیادی نیاز داشته باشد.

- ۵ - ممکن است که آزمایش کردن در جهان واقعی امکان کاوش بسیاری از گزینهها را به دست ندهد. شانون خاطر نشان می سازد که در صورت وجود یک یا چند شرط از شرایط زیر، تحلیلگر می تواند از شبیه سازی استفاده کند:

- ۱ - تدوین ریاضی کاملی از مسئله وجود نداشته، یا برای حل مدل ریاضی هنوز روشهای تحلیل به وجود نیامده باشد.

- ۲ - روشهای تحلیلی وجود داشته اما شیوههای ریاضی آنقدر پیچیده و سخت باشند که شبیه سازی، روشی ساده تر برای حل مسئله به حساب آید.



۳ - راه‌حلهای ریاضی وجود داشته ، یا به دست آوردن آنها امکان پذیر بوده، اما انجام آن خارج از توان ریاضی‌افراد دست‌اندر کار باشد . در این صورت باید هزینه طراحی، آزمایش و اجرای شبیه سازی ، در مقابل هزینه‌بدست آوردن کمک از خارج سازمان ارزیابی شود.

۴ - علاوه بر برآورد بعضی از پارامترهای خاص ، مشاهده گذشته در طول دوره‌ای از زمان مطلوب باشد.

۵ - ممکن است به علت مشکلات موجود در انجام آزمایشها و مشاهده پدیده ها در محیط واقعی آنها، شبیه‌سازی تنها راه ممکن باشد . ایجاد یک سازمان جدید مثالی از این حالت است .

۶ - تراکم زمان برای سیستمها یا فرایندهایی که دارای چارچوب زمانی بلند مدت هستند مورد نیاز باشد. در شبیه سازی، کنترل کاملی روی زمان وجود دارد ، زیرا سرعت یک پدیده را می‌توان به دلخواه کم و زیاد کرد.

## انواع شبیه سازی

فرم‌های مختلفی از شبیه سازی وجود دارد که اینجا برخی از آنها را یادآور می‌شویم :

۱ - شبیه سازی همانی : مدلها از نظر شباهت به سیستم واقعی، در یک حوزه وسیع قرار دارند. در انتهاالیه این‌حوزه میتوان خود سیستم را بعنوان مدل آن در نظر گرفت و رفتار آنرا بررسی نمود. این روش را شبیه سازی‌همانی نامند. به عبارت دیگر این روش همان آزمایش مستقیم روی سیستم است که گرچه ساده بنظر می‌رسد در صورت یافتن پاسخی برای مسئله مورد نظر، صد در صد قابل استفاده و مفید می‌باشد ولی دارای معایب‌زیادی هم می‌باشد که در قسمت های قبل ذکر گردید.

۲ - شبیه سازی نیمه همانی : همانطور که از نام این روش بر می‌آید، در مطالعه سیستم سعی می‌گردد تا آنجا که امکان دارد از اشیاء و قوانین واقعی سیستم استفاده گردد تنها اشیاء یا مراحل از سیستم واقعی که باعث غیرممکن شدن شبیه سازی همانی است، مدلسازی می‌گردد. بعبارت دیگر بخشی از مدل سیستم، واقعی و بخش دیگر غیر واقعی یا شبیه سازی شده است. بعنوان مثال مانورهای نظامی که در آن سربازان ، افسران وسلاحها واقعی بوده ولی خرابی یا کشتاری صورت نمی‌گیرد . و محل عمل ، محل واقعی حمله یا دفاع نمی‌باشد . هرچند این روش عملی تر از شبیه سازی همانی است ولی معایب آنرا کم و بیش دارد.

۳ - شبیه سازی آزمایشگاهی : در این روش بعضی از نماها و اشیاء سیستم واقعی بوسیله امکانات آزمایشگاهی ساخته شده و بعضی نماها و روابط دیگر به وسیله سمبلها جایگزین میگردند.

۴ - شبیه سازی کامپیوتری: در شبیه سازی کامپیوتری، مدلی که از سیستم تحت بررسی ساخته می شود یک برنامه کامپیوتری است یعنی کلیه اشیاء ها و نماهای سیستم به ساختارهای برنامه ای و کلیه مشخصات و رفتار آنها به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل می گردد. قوانین و روابط حاکم بر سیستم و ارتباطشان با یکدیگر در برنامه در نظر گرفته می شود . شبیه سازی کامپیوتری به علت عملی بودن و دارا بودن امتیازهای خاص خود برای بررسی و مطالعه اغلب سیستمها از قبیل حمل و نقل، بیمارستان، سیستمهای صنعتی، تولیدی، ترافیک ، انبار و غیره بکار می رود . منظور ما نیز از شبیه سازی، شبیه سازی کامپیوتری است.

### فرایند شبیه سازی

مراحل بررسی و مطالعه یک سیستم بوسیله فلوجارت صفحه بعد مشخص گردیده است. هر یک از مراحل مذکور قدمهای اساسی ای هستند که احتیاج به توضیح بیشتری دارند. از طرف دیگر مراحل تعیین شده فلوجارت جنبه کلی داشته و در برگیرنده همه انواع بررسی هایی است که شامل یک مدل می باشند ، درحالیکه هدف ما در این جا مطالعه روش شبیه سازی کامپیوتری است . لذا مراحل مذکور در ادامه بحث بصورت دقیق تر توضیح داده می شود.

شاید تصور شود که آزمایش شبیه سازی تنها شامل شناخت سیستم و ساختن مدل کامپیوتری آن می باشد، و بهمین علت در بعضی دوره های آموزشی تنها به جنبه های برنامه ای و زبانهای خاص شبیه سازی توجه می شود. در صورتیکه ساختن مدل سیستم بوسیله یک زبان کامپیوتری تنها یکی از قدمهای لازم است. اهمیت این مطلب، بخصوص وقتی زیادتر می گردد که آزمایش جنبه آموزشی نداشته و نتایج آن باید در مورد یک سیستم واقعی بکار گرفته شود. در آنجاست که باید تا حد ممکن مطمئن بود که مدل معتبر بوده و رفتار سیستم را بخوبی شبیه سازی می کند. علاوه بر آن ، نتایج خام بدست آمده از اجرای مدل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند تا باعث قضاوتهای دقیق تری در مورد سیستم گردد . فرایند شبیه سازی در فلوجارت صفحه بعد نشان داده شده است .

آغاز پروژه، زمانی اتفاق می‌افتد که شخصی در سازمانی بر این عقیده است که مسئله‌ای وجود دارد و نیاز به رسیدگی آن است. معمولاً در سازمان از گروهی که با مسئله مواجه هستند فردی تعیین می‌شود تا بررسی‌های مقدماتی را انجام دهد. گاهی تشخیص داده می‌شود که روشهای کمی در مطالعه مسئله ممکن است مفید باشد و در این موقع تحلیلگر سیستم به گروه اضافه می‌شود. بدین ترتیب تعریف و تدوین مسئله آغاز می‌گردد.

## تشریح فرایند شبیه سازی

۱ - تدوین مسئله : آلبرت انیشتین بیان داشت که تدوین صحیح مسئله، حتی از حل آن اساسی‌تر است. برای یافتن جواب مسئله، ابتدا باید فهمید که مسئله چیست. این نکته ممکن است ساده به نظر آید اما بسیاری از دانشمندان علم مدیریت، آن را کاملاً نادیده می‌گیرند. هر ساله در جهان جهت یافتن جوابهای عالی و جامع برای سؤالات اشتباه، سرمایه‌های گزافی هزینه می‌شوند. در بسیاری از موارد ممکن است مدیریت نتواند یاقادر نباشد مشکل خود را بطور صحیح تشخیص دهد. آنها می‌دانند که مشکل وجود دارد اما ممکن است مشکل حقیقی را تشخیص ندهند. بنابراین پروژه تحلیل سیستم، معمولاً با انجام مطالعه‌ای جهت آشنا شدن با سیستم تحت کنترل تصمیم گیرنده، آغاز می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که تدوین مسئله در طول مطالعه و بررسی، فرایندی پیوسته است. بنابراین اولین قدم در هر آزمایش، منجمله یک آزمایش شبیه سازی، تعیین هدف آزمایشی است. چون این هدف است که نحوه آزمایش، جزئیات لازم و نتایج نهایی را تعیین می‌کند.

شانون در کتاب خود به نقل از بارتی مسئله را این چنین عنوان می‌کند «می‌توان مسئله را به عنوان حالتی از خواست برآورده نشده، تعریف کرد». زمانی که نتایج دلخواه از عملیات سیستم حاصل نشوند، وضعیت سیستم به یک مسئله تبدیل می‌شود. وقتی که نتایج مورد نظر به دست نیایند، نیاز به اصلاح سیستم یا محیطی که سیستم در آن عمل می‌کند، به وجود می‌آید. مسئله را می‌توان بصورت ریاضی این چنین تعریف کرد:

$$P_t = [D_t - A_t]$$

که در این فرمول

$P_t$ : وضعیت مسئله در زمان  $t$  است.

Dt: حالت مطلوب در زمان t است .

At: حالت واقعی (وضعیت سیستم) در زمان t است .

۲ - تعریف سیستم : قسمت مهمی از فرایند تحلیل سیستم ، تعریف سیستمی است که باید مورد مطالعه قرارگیرد . وقتی که هدف مطالعه و بررسی مشخص گردید، آنگاه باید به شناخت سیستم و تعریف قسمتهائی از آن که بطور مستقیم یا غیر مستقیم به هدف بستگی دارند پرداخت . البته این به آن معنی نیست که شناخت قسمتهای دیگر یا کسب اطلاعات بیشتر در مورد سیستم مخرب بوده و مسیر آزمایش را تغییر می دهد . بلکه تنها اشکالی که ممکن است ایجاد گردد این است که وجود جزئیات زیاد و اطلاعات اضافی باعث سردرگمی مدلساز و یا پیچیدگی مدل گردد . تعریف سیستم شامل تعیین جزء سیستم، اشیاء و عوامل داخلی و خارجی ، محیط سیستم ، اشیاء آن و بالاخره پارامترها و متغیرهای سیستم می باشد . بعد از تعیین دقیق بخشها و اطلاعات مذکور، مشخصاتی از اشیاء سیستم که در ارتباط با هدف مطالعه و بررسی هستند تعریف و روابط وقوانین حاکم بین آنها و بین اشیاء سیستم مشخص یا فرموله میگردند . آنگاه چگونگی رفتار سیستم مورد بررسی قرار گرفته و جزئیات تغییر وضعیت ها و اثر پیش آمدها در سیستم معلوم میگردند.

۳ - آیا از شبیه سازی استفاده شود؟ تاکنون سیستم ، بررسی و مشکل سیستم مشخص شد. حال باید با انتخاب روشی صحیح و منطقی سیستم را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و مشکل را حل کرد. در این مرحله باید مشخص کرد که از چه روشها و تکنیکهایی می توان برای این منظور استفاده کرد. اگر فقط از شبیه سازی می توان استفاده کرد و دیگر روشها کاربرد ندارند و یا کاربرد آنها چندان مطلوب نیست، قطعاً از شبیه سازی استفاده می کنیم . اما اگر هم از شبیه سازی و هم از روشهای دیگر بتوان استفاده کرد باید به تجزیه و تحلیل روشها از دیدگاههای مختلف مانند هزینه ، میزان دقت نتایج و غیره و همچنین امکانات در دسترس و دیگر عواملی که برای مسئولان مهم است پرداخت و سپس به انتخاب روش صحیح و منطقی برای بررسی سیستم پرداخت . با فرض اینکه مشخص شده که از شبیه سازی باید استفاده کرد ، به تشریح قدمهای بعدی این فرایند می پردازیم.

۴ - تدوین مدل : چهارمین مرحله از فرایند شبیه سازی ساختن مدل است. باید خاطرنشان ساخت که مدلسازی یک هنر است و لذا میزان مطلوبیت مدل بستگی زیاد به فردی دارد که مدل را تهیه کرده است. روش ساخت

موفقیت آمیز مدلها بر اساس تکمیل و توسعه آنها استوار است. کار را با مدلی بسیار ساده شروع کرده، به نحوی تکاملی سعی می‌شود که کار به سوی مدلی پیش رود که کاملتر بوده و وضعیت پیچیده را روشنتر منعکس کند. هنر مدلسازی عبارت است از توانایی تحلیل مسئله، چکیده سازی خصایص اساسی آن، انتخاب مفروضات و سپس تکمیل و توسعه مدل تا وقتی که تقریبی مفید از واقعیت بدست آید. شانون در کتاب خود به نقل از موریس برای مدلسازی هفت رهنمود زیر را پیشنهاد می‌کند:

۱ - سیستم مورد سؤال را به مسائل ساده‌تر تقسیم کنید.

۲ - بیان روشنی از اهداف ارائه دهید.

۳ - شباهتها را جستجو کنید.

۴ - یک مثال عددی مشخص از مسئله را در نظر بگیرید.

۵ - چند نماد فراهم کنید.

۶ - بدیهیات را مشخص کنید.

۷ - اگر مدل قابل کنترل بود آن را توسعه دهید، در غیر این صورت آن را ساده کنید.

بطور کلی، ساده سازی را می‌توان با یکی از روشهای زیر انجام داد، در حالی که درست عکس موارد

زیر برای غنی سازی صورت می‌پذیرد:

۱ - تبدیل متغیرها به مقادیری ثابت

۲ - حذف یا ترکیب متغیرها

۳ - خطی فرض کردن روابط

۴ - افزودن فرضها و محدودیت های مؤثرتر

۵ - محدود کردن حدود سیستم

یکی از عواملی که سرعت و جهت تکاملی مدلسازی به آن بستگی دارد، رابطه بین سازنده مدل و استفاده کننده آن است. با همکاری نزدیک در فرایند تکاملی، سازنده مدل و استفاده کننده آن می‌توانند محیطی از اعتماد و تفاهم متقابل به وجود آورند که به کمک آن، متناسب بودن نتیجه نهایی با اهداف، مقاصد و معیارهای مورد نظر تأمین می‌شود. به هنگام تلاش برای مدل کردن سیستم حتماً باید اهداف یا مقاصد

آزربایان داشت و از آنها منحرف نشد تا مدل مناسبی حاصل شود. چون شبیه سازی با حل مسائل جهان واقعی سروکار دارد، باید اطمینان یافت که نتیجه نهایی مدل، وضعیت حقیقی را دقیقاً به تصویر می کشد. در نتیجه مدلی که جوابهای بی معنی می دهد باید فوراً مورد سوء ظن قرار گیرد. مدل باید همچنین قادر باشد به سؤالی «چه می شود اگر...» پاسخ گوید زیرا این گونه سؤالا هستند که در درک مسئله و کوشش برای ارزیابی گزینهها بر ایمان بسیار مفیدند. شانون در کتاب خود معیارهای خاصی که هر مدل خوب شبیه سازی باید به آنها برسد را چنین تعیین می کند :

۱ - درک آن برای استفاده کننده آسان باشد.

۲ - در جهت هدف یا مقصود باشد.

۳ - قوی بوده، بدین مفهوم که جوابهای بی معنی ندهد.

۴ - برای استفاده کننده ، کنترل و کار کردن با آن راحت بوده ، یعنی ارتباط با آن آسان باشد.

۵ - در مورد موضوعات مهم کامل باشد.

۶ - اصلاح یا به هنگام کردن مدل به آسانی انجام شود.

۷ - تکاملی باشد ، بدین مفهوم که به طور ساده شروع و سپس پیچیده تر شود.

۵ - تدارک داده ها: هر مطالعه ای مستلزم جمع آوری داده هاست . معمولاً جمع آوری داده ها را به مفهوم جمع آوری اعداد تعبیر می کنند در صورتی که جمع آوری اعداد ، تنها جنبه ای از کار جمع آوری داده هاست. تحلیلگر سیستم باید داده ها مربوط به ورودیها و خروجی های سیستم و نیز با اطلاعات مربوط به اجزاء مختلف سیستم و ارتباطهای بین آنها ارتباط نزدیک داشته باشد . بنابراین تحلیلگر به جمع آوری داده های کمی و کیفی علاقه مند بوده و باید تصمیم بگیرد که چه داده هایی مورد نیازند، آیا داده ها مناسباند ، آیا داده های موجود برای اهداف او قابل قبول اند، و چگونه این اطلاعات را باید تهیه کرد . طراحی یک مدل شبیه سازی تصادفی ، همیشه مستلزم این انتخاب است که آیا داده های تجربی مستقیماً در مدل به کار روند یا از توزیعهای نظری احتمال با فراوانی استفاده شود. به سه دلیل این انتخاب مهم و بنیادی است . اول آنکه استفاده از داده های تجربی خام ، به این مطلب اشاره می کند که تمام آنچه را که یک مدل انجام می دهد شبیه سازی حالت گذشته است . حال آنکه ، استفاده از داده های یک سال ، تنها عملکرد همان سال را تکرار کرده و لزوماً در مورد عملکرد مورد انتظار

سیستم در آینده ، چیزی به ما نمی‌گوید. دوم آنکه برای تولید متغیرهای تصادفی که در عملیات مدل لازم‌اند، از لحاظ وقت کامپیوتر و حافظه مورد نیاز ، کاربرد توزیع نظری احتمال عموماً نسبت به کاربرد شیوه‌های مراجعه به جدول، کارایی بیشتری دارند. سوم آنکه اگر الزامی در کار نباشد ، بسیار مطلوب‌است که تحلیلگر ، حساسیت مدلش را نسبت به شکل دقیق توزیعهای احتمالی که به کار رفته‌اند و نسبت به مقادیر پارامترها ، تعیین کند . به عبارت دیگر ، آزمونهای حساسیت نتایج، نسبت به داده‌های ورودی بسیارمهم‌اند.

بنابراین ، تصمیمهای مربوط به داده‌هایی که به کار می‌روند، اعتبار و شکل آنها ، نیکویی بر ارزش آنها و عملکرد گذشته آنها برای موفقیت آزمایش شبیه سازی حیاتی بوده و فقط در سطح علمی و نظری مطرح‌نیستند.

۶ - برگردان مدل : در این مرحله باید مدلی که از سیستم تهیه شده برای کامپیوتر توصیف کنیم . پذیرش سریع‌شبهه سازی کامپیوتری موجب توسعه بسیاری از زبانهای خاص برنامه نویسی شده که برای آسان کردن این‌برگردان ، طرح ریزی شده‌اند . عملاً اکثر زبانهای پیشنهاد شده تنها روی تعداد محدودی از کامپیوترها پیاده‌شده‌اند . مدل‌های شبیه سازی از لحاظ منطقی معمولاً بسیار پیچیده بوده ، دارای فعل و انفعالهای متقابل بسیاری در بین عناصر سیستم اند ، که اکثر این فعل و انفعالها در حین برنامه به طور پویا تغییر می‌کنند . این‌وضعیت موجب شده‌است که محققان ، زبانهای برنامه نویسی را ایجاد و توسعه دهند تا مشکل برگردان را آسان کنند . در اینجا برخی از زبانهای شبیه سازی را همراه با توصیف مختصری درباره آنها معرفی می‌کنیم .

## زبانهای شبیه سازی

### Gpss III

Gpss را ابتدا در آغاز دهه ۱۹۶۰ فردی به نام جی. جردن برای شرکت آی.بی.ام ساخت. Gpss سومین نسخه این زبان ، برنامه ای دو قسمتی است که نیازمند به کارگیری همگردان است. قسمت اول یک برنامه مونتاژ است که توصیف کننده‌های سیستم را به صورت داده قسمت دوم تبدیل می‌کند. قسمت دوم شبیه سازی را انجام می‌دهد. Gpss III به برنامه نویسی به مفهوم معمول آن نیاز ندارد. مدل سیستم با استفاده از دستور

العملهای مستطیلی ساخته می‌شود. استفاده از Gpss به هیچ گونه دانش قبلی در مورد برنامه نویسی کامپیوتری نیاز ندارد .

## DYNAMO

دینامو در سال ۱۹۵۹ در دانشگاه ام.آی.تی توسط فیلیس فوکس و الکساندر رال پو تدوین شد. این زبان به عنوان محصولی که به وسیله جی.دبیلو.فرستر برای تحلیل رفتار جامع سیستمهای صنعتی درمقیاس وسیع طراحی شده ، به وجود آمده است . دینامو یک برنامه کامپیوتری است که مدل به صورت مجموعه معادلات توصیف کننده نشان داده می‌شود . سپس رفتار سیستم ، با ارزیابی مستمر معادلات در طول زمان ، شبیه سازی می‌شود . از این زبان به صورت مؤثر در مدلسازی و اقتصاد سنجی و شبیه سازی سیستمهای پیچیده صنعتی و همچنین برنامه ریزی سیستمهای شهری - اجتماعی استفاده می‌شود . این زبان نیز مانند Gpss به دانش برنامه نویسی نیاز ندارد .

## GASP IV

این زبان را در سال ۱۹۷۳ ای.آلن.بی. پریترسکر و نیکولاس آر.هرست ساختند و به جای زبان GASP II - که کاملاً یک زبان شبیه سازی متغیرهای گسسته بود - جایگزین شده است . زبان GASP II نتیجه کار فیلیپ جی کیویات در شرکت فولاد آمریکا بود. تفاوت عمده بین GASP II و GASP IV توانایی اضافی در شبیه سازی متغیرهای پیوسته علاوه بر متغیرهای گسسته است. این زبان توانایی اجرای ترکیبی از متغیرهای پیوسته و گسسته را داراست . این زبان کاملاً به زبان فورترن IV نوشته شده و در هر کامپیوتری با همگردان فورترن قابل استفاده و این یکی از ویژگیهای جذاب و بی نظیر آن است. این زبان از چندین برنامه فرعی فورترن تشکیل شده که هر یک وظیفه خاصی را در شبیه سازی انجام می‌دهند، یک برنامه نویسی می‌تواند GASP IV را طوری تغییر داده و اصلاح کند که با خصوصیات مورد علاقه خود که در برنامه لحاظ نشده است ، منطبق شود.

## SIMSCRIPT

simscript را در اوایل دهه ۱۹۶۰ هری مارکویتز در شرکت راند به عنوان یک زبان برنامه نویسی به وجود آورد. گرچه در ابتدا برای تجزیه و تحلیل‌های شبیه سازی طراحی شد، ولی می‌توان از آن به عنوان یک زبان برای



مقاصد کلی و عمومی استفاده کرد. این زبان، یک زبان قدرتمند شبیه سازی است که در آن از واژه‌های انگلیسی استفاده نشده است و به هیچ گونه کد کردن خاصی نیاز ندارد و برای استفاده از آن هم به یک زبان واسطه همچون فورترن، نیازی نیست.

### Q-GERT

این زبان برای مدلسازی شبکه و خصوصاً تحلیل سیستمهای صف مناسب است. این زبان را پریتسکر در طی دهه ۱۹۶۵ ساخت. GERT علامت اختصاری برای تکنیک ارزیابی و بازنگری با استفاده از نمودار است. تفاوت عمده بین Q-GERT و GERT در این است که Q-GERT توانایی وارد نمودن خدمت دهندگان و صفها را در مدل شبکه دارد. علاوه بر این به استفاده کننده (کاربر) امکان می‌دهد که مسیر نهادهای خاصی را در طول جریان سیستم پیگیری کند. از زبانهای که در این قسمت معرفی شد، Q-GERT ساده‌ترین زبان شبیه‌سازی برای کاربران است.

### SLAM

SLAM بر مبنای زبان فورترن بنا نهاده شده و آن را پریتسکر به وجود آورده است. امکان استفاده از این زبان در مدل‌های شبکه، مدل‌های با حوادث گسسته، مدل‌های حوادث پیوسته و ترکیبی از این سه مدل، وجود دارد. SLAM علامت اختصاری «زبان شبیه سازی برای مدلسازی جایگزین» است. SLAM به دلیل توان ترکیب مدل‌های شبکه، حوادث گسسته و پیوسته به کاربر امکان می‌دهد تا مدل‌های دیگری را توسعه دهد. این زبان محصول زبانهای GERT و GASPIV است که به وسیله پریتسکر به وجود آمده است.

۷ - تعیین/اعتبار: این مرحله از مهمترین و معمولاً مشکلترین مراحل شبیه سازی است. تعیین اعتبار عبارت از فرآیند اطمینان دادن به استفاده کننده مدل، تا آن سطح که بپذیرد هر گونه استنباط حاصل از شبیه سازی درباره سیستم، صحیح است. به عبارتی دیگر تعیین اعتبار یعنی پاسخ دادن به این سؤال که «آیا مدل ساخته شده رفتار سیستم واقعی را بدرستی شبیه سازی می‌کند یا خیر؟» بنابراین آنچه که به ما مربوط می‌شود قابل اعتبار بودن مدل است، نه حقیقت ساختار آن. تعیین اعتبار مدل بیش از حد مهم است، زیرا شبیه سازی‌ها معمولاً واقعی جلوه کرده و مدلسازها و استفاده کنندگان به راحتی آنها را باور می‌کنند. مفروضاتی که در شبیه سازی‌ها به کار می‌رود اغلب از دید یک شخص عادی و حتی گاهی از دید مدلساز نیز پنهان می‌ماند. در نتیجه،

اگر مراحل تعیین اعتبار و ارزیابی، به دقت و به طور کامل انجام نگیرد، ممکن است نتایج غلط با اثرات خطرناک پذیرفته شود. در تعیین اعتبار مدل یک سؤال مطرح می‌شود و آن این است که ضابطه اندازه‌گیری تطابق رفتار مدل با رفتار سیستم چیست و چگونه از آن استفاده می‌شود. معمولاً دو روش برای آزمایش رفتار مدل‌های شبیه‌سازی بکار می‌رود:

الف) در مواقعی که ارقام و نتایج رفتار سیستم واقعی در دست می‌باشد، مقادیر و نتایج مشابه بدست آمده از بررسی مدل را با آنها مقایسه می‌کنند.

ب) دقت مدل را در پیش بینی و تعیین مقادیر پارامترها و متغیرهای سیستم در آینده مورد بررسی قرار می‌دهند. برای تعیین اعتبار مطمئن و دقیق مدل بحث‌ها و بررسی‌های زیادی صورت گرفته و نظریه‌های متعددی بیان گردیده است. پرداختن به این نظریه‌ها خارج از محدوده این مجموعه است و لذا در اینجا فقط به ذکر مراحل یک روش تعیین اعتبار می‌پردازیم. این مراحل عبارتند از:

الف - در مرحله اول، اساسی که مدل بر پایه آنها بنا شده است باید مشخص گردد. این اساس شامل یک سری واقعیات غیر قابل انکار و یک سری فرضیات است که در هنگام شناخت و تعریف سیستم تعیین شده‌اند. برای این تشخیص، مدلساز از اطلاعات خود راجع به سیستم واقعی یا سیستم‌های مشابهی که شبیه‌سازی شده‌اند استفاده خواهد کرد. مدلساز فرضیات را از بدیهیات غیر قابل انکار بازشناخته و از بین آنها فرضیاتی را که قابل‌آزمایش هستند انتخاب می‌کند. دلیل این انتخاب این است که در شبیه‌سازی مواردی وجود دارد که آزمون یک فرض، گاه غیر ممکن و یا بسیار مشکل است. در این گونه موارد، با این استدلال که فرضیه غیر قابل‌آزمایش بی‌معنی است، کنار گذاشته می‌شود و یا آنرا بصورت موقتی قبول کرده و در عین حال به جستجوی فرضیه قابل‌آزمایشی پرداخته می‌شود.

ب - در مرحله دوم فرضیات منتخب مرحله اول مورد آزمون قرار می‌گیرند. این فرضیات که اغلب مربوط به متغیرهای تصادفی سیستم (بعنوان پارامترهای ورودی) می‌باشند باید با روشهای آماری آزمون فرض، مورد آزمایش قرار گیرند.

ج - مرحله سوم تست رفتار مدل یا تطابق نتایج است. برای انجام این مرحله دو روش وجود دارد که در صفحه قبل ذکر گردید. واضح است که مدل ساخته شده باید متناسب با هدف شبیه‌سازی رفتار و عملکرد

سیستم رابه نمایش بگذارد. بعبارت دیگر باید کلیه وقایعی که در سیستم رخ می‌دهند، هر کدام بموقع خود، و تمام جزئیات اثر یا اثرات آنها در مدل گنجانیده شود. گاه اتفاق می‌افتد که بعضی جزئیات در مدل از قلم افتاده یا اشتباهی برنامه نویسی شده و یا حتی بعضی از قسمت‌ها بطور نادرست مدلسازی شده‌اند. این اشتباهات گاهی آنقدر مخرب هستند که نتایج حاصل بجای عملی بودن اصولاً مسخره خواهند بود.

۸ - برنامه ریزی/استراتژیک و تاکتیکی: بطور کلی برنامه استراتژیک یعنی طرح آزمایشی که اطلاعات مطلوب از آن حاصل شود و برنامه ریزی تاکتیکی یعنی تعیین این موضوع که هر یک از آزمونهای مشخص شده در طرح آزمایش، چگونه انجام گیرد.

استفاده از طرح‌های آزمایش به دو دلیل است: (۱) کاهش تعداد دفعات آزمایش و (۲) ساختاری برای فرایند یادگیری محققین. در طرح آزمایش روشی برای جمع آوری اطلاعات اساسی انتخاب می‌شود که درباره پدیده یا سیستم، آن قدر آگاهی به دست آید که بتوان استنباطهای معتبری راجع به رفتار آن کسب کرد. در آزمایش شبیه سازی عوامل متعددی وجود دارند که باید دارای طرح معینی باشند. بعضی از این عوامل عبارتند از، شرایط اولیه (یا شرایط شروع) شبیه سازی، شرایط پایانی و زمانهایی که مدل باید اطلاعاتی را تولید کند. هر یک از این عامل‌ها اثرات بسیار مهمی روی نتایج حاصل از شبیه سازی دارند که با تغییر آنها، میزان تأثیرشان تغییر می‌یابد. آزمایش کننده می‌بایست قبل از به اجرا گذاشتن مدل، تصمیم خود را در مورد چگونگی این عوامل، البته براساس روشهای علمی و فنی، بگیرد. نتیجه این تصمیم بخشی از طراحی آزمایش را تشکیل می‌دهد. دو نوع از اهداف آزمایش به سهولت قابل تشخیص اند: (۱) یافتن ترکیبی از مقادیر پارامترها که جواب آزمایش را بهینه کند و (۲) یافتن روابط بین جواب آزمایش و عوامل قابل کنترل سیستم. برای هر دوی این اهداف طرح‌های آزمایشی زیادی به وجود آمده و در دسترس‌اند.

عموماً در برنامه ریزی تاکتیکی مسئله بازدهی مطرح است و با تعیین چگونگی اجرای مدل که در طرح آزمایشی مشخص می‌شوند، سروکار دارد. برنامه ریزی تاکتیکی، حل دو گروه از مسائل را در نظر دارد: (۱) شرایط شروع، چون در رسیدن به تعادل مؤثرند و (۲) نیاز به کاهش پراکندگی (واریانس) جواب تا حد ممکن، در حالی که حجم نمونه های لازم مینیمم شوند.

اولین مشکل از ماهیت تصنعی عملکرد مدل ناشی می‌شود. بر خلاف جهان واقعی، مدل شبیه سازی فقط در فواصل معین عمل می‌کند. یعنی آزمایش کننده، مدل را به کار انداخته، اطلاعاتش را بدست آورده و سپس تا اجرای بعدی آنرا از کار باز می‌دارد. هر بار که اجرای مدل آغاز می‌شود ممکن است مدت زمانی طول بکشد تا مدل به شرایط تعادل که نمایشگر عملکرد سیستم جهان واقعی است برسد. در نتیجه، دوره ابتدایی عملکرد مدل به علت دارا بودن شرایط ابتدایی شروع، نمایشی غیر واقعی است. راه حل این مشکل عبارت است از: (۱) صرف نظر کردن از بعضی از داده‌های دوره ابتدایی و (۲) انتخاب شرایطی برای شروع که زمان لازم برای رسیدن به تعادل را کاهش دهند. هر چه مدل شبیه سازی پیچیده تر شود اهمیت برنامه ریزی تاکتیکی خوب قبل از اجرای آزمایشها بیشتر می‌شود.

#### ۹- آزمایش کردن و تفسیر (تحلیل حساسیت):

بالاخره بعد از آن همه برنامه ریزی و توسعه مدل بدست آوردن اطلاعات مطلوب، مدل اجرائی می‌شود. در این مرحله است که اشتباهات و نقایص برنامه ریزی آشکار می‌شود و تا رسیدن به اهدافی که ابتدا مشخص شده‌اند مراحل اجرا شده مورد بازرسی قرار می‌گیرد. تحلیل حساسیت یکی از مهمترین مفاهیم مدلسازی از طریق شبیه سازی است. منظور از آن، تعیین حساسیت جوابهای نهایی نسبت به مقادیر پارامترهای به کار رفته است. معمولاً در تحلیل حساسیت مقادیر پارامترها را روی محدوده مورد نظر به طور منظم تغییر می‌دهند و اثر آن را روی پاسخ مدل مشاهده می‌کنند. تقریباً در هر مدل شبیه سازی، بسیاری از متغیرها براساس داده‌هایی قرار دارند که بسیار قابل بحث‌اند. در اکثر موارد، ممکن است تنها براساس حدس افراد با تجربه و یا تحلیلی بسیار شتابزده از حداقل داده‌ها، مقادیر آنها تعیین شود. بنابراین تعیین درجه حساسیت نتایج نسبت به مقادیر به کار رفته، بی‌نهایت مهم است. اگر با تغییری مختصر در مقادیر بعضی از پارامترها، جواب به میزان زیادی تغییر کند، این مطلب ممکن است انگیزه و توجه لازم برای صرف کردن زمان و پول بیشتر جهت کسب برآوردهای دقیق تر را فراهم کند. از طرف دیگر، اگر با وجود نوسانات زیاد در مقادیر پارامترها، نتایج به دست آمده تغییر نکنند، تلاش بیشتری لازم نبوده و قابل توجه هم نیست. به علت میزان کنترلی که آزمایش کننده از آن برخوردار است، به طور ایده‌آل، شبیه سازی برای تحلیل حساسیت مناسب است.

۱۰ - پیاده سازی و مستند سازی : پیاده سازی و مستند سازی آخرین عناصری هستند که باید در هر پروژه شبیه سازی موجود باشند. نمی توان پروژه شبیه سازی را با موفقیت پایان یافته تلقی کرد، مگر آنکه پذیرفته شده ، تفهیم شود و مورد استفاده قرار بگیرد. بزرگترین شکست علمای مدیریت، در به دست آوردن پذیرش و استفاده از کارهایشان بوده است. شانون در کتاب خود نتایج بررسی گرشفسکی را چنین ذکر می کند. گرشفسکی در بررسیهایشان دریافت که به طور متوسط از زمان کل ایجاد و توسعه یک مدل، ۲۵٪ برای تدوین مسئله ، ۲۵٪ برای جمع آوری و تحلیل داده های گذشته ، ۴۰٪ برای ایجاد و توسعه یک مدل کامپیوتری و ۱۰٪ برای پیاده سازی صرف شده است. « بنابراین تعجب آور نیست که یکی از بزرگترین علل شکست پروژه های شبیه سازی ، ناشی از آن باشد که استفاده کننده، از نتایج درک کافی نداشته ، در نتیجه مدل را پیاده نکرده است . مستند سازی رابطه نزدیکی با پیاده سازی دارد . مستند سازی دقیق و کاملی از چگونگی ایجاد و توسعه و نحوه عمل مدل می تواند عمر مفید و شانس پیاده سازی موفق آن را ، بسیار افزایش دهد . مستند سازی خوب ، اصلاح مدل را آسانتر ساخته ، حتی در صورت نبودن ایجاد کننده های اصلی آن ، توانایی استفاده از آن را ، تأمین می کند.

### مثالهایی از شبیه سازی

در این قسمت به منظور درک مفهوم شبیه سازی چند مثال شبیه سازی را ذکر می کنیم.

شبیه سازی یک سیستم موجودی انبار با تقاضا و زمان تأخیر احتمالی

تقاضای هفتگی برای یک توزیع کننده تجهیزات الکتریکی ، متغیر تصادفی گسسته ای است که توزیع احتمال آن به شکل جدول زیر است .

تقاضای هر هفته	احتمال تقاضا
X	P(X)
۱۴	۲/۰
۱۵	۴/۰
۱۶	۲/۰

۱۰	۱۷
۱۰	۱۸

در این جدول،  $P(X)$  احتمال آن است که تقاضا برای این کالا در هفته‌ای مشخص  $X$  باشد. این توزیع کننده تجهیزات مورد نیاز خود را به وسیله سفارش از تولید کننده تهیه کند. از طرفی بین زمان صدور سفارش تا زمانی که تجهیزات را دریافت می‌کند، زمان تأخیری وجود دارد. که این زمان تأخیر ثابت نبوده بلکه یک متغیر تصادفی گسسته است که توزیع احتمال آن در زیر نشان داده شده است.

احتمال زمان تأخیر	زمان تأخیر بر حسب هفته
$P(Y)$	$Y$
۰/۶	۲
۰/۳	۳
۰/۱	۴
۱/۰۰	

هدف توزیع کننده آن است که تعداد بهینه سفارش را به اضافه زمانی که باید سفارش داده شود (نقطه سفارش مجدد) مشخص کند. تصمیم بهینه، تصمیمی خواهد بود که موجب حداقل هزینه‌های کل انبار شود. توزیع کننده پارامترهای هزینه زیر را تعیین کرده است: هزینه هر بار سفارش (CO) ۱۵۰ تومان، هزینه انبار داری (CC) برای هر واحد در هفته ۱ تومان و در صورت کمبود کالا برای پاسخگویی به تقاضا تامین نشده به ازای هر واحد ۱۰۰ تومان است (هزینه کمبود (CS)).

توجه کنید که طول هر پاره خط عمودی در هر پله دقیقاً متناظر با احتمال کمیتی از تقاضا،  $P(X)$ ، است. برای مثال، در قسمت بالای نمودار، پاره خط عمودی که مستقیماً بالای مقدار ۱۸ قرار دارد، دارای احتمالی بین ۰/۹ تا ۱/۰ است. این دامنه با احتمال تقاضای ۱۸ ترمینال کامپیوتری،  $p(18) = 0/1$  متناظر است. همین قضیه برای تقاضاهای دیگر نیز صادق است.

بنابراین ، تابع تجمعی  $X$  ، شامل چندین دامنه است که هر دامنه متناظر با میزان مشخصی از تقاضا است .همین مطلب برای زمان تأخیر و احتمال آن نیز صادق است . حال اگر اعداد تصادفی مانند ۲۱ و ۲۲ را بتوان بین ۰ تا ۱ تولید کرد ، در این صورت با توجه به اینکه این عدد های تصادفی در کجا قرار گیرند می توان مقدار متناظر تقاضا و زمان تأخیر را روی محور افقی مشخص کرد . برای مثال مقدار  $۲۱ = ۰/۷۶$  در دامنه  $۰/۸ > F(x) > ۰/۶$  قرار می گیرد. پس تقاضای متناظر آن ۱۶ واحد است که از روی محور افقی پیدا می شود. بنابراین ، با انتخاب مقادیر تصادفی ۲۱ و ۲۲ می توان مقادیر  $X$  و  $Y$  را به صورت تصادفی براساس توزیع احتمال تقاضا و زمان تأخیر تولید کرد . برای تولید اعداد تصادفی از جدول اعداد تصادفی استفاده شده است .

تقاضا $x$	احتمال تقاضا $P(x)$	دامنه توزیع تجمعی $F(x)$	نه اعداد تصادفی $r1$
14	2/0	19/0 - 0/00	19 - 00
15	4/0	59/0 - 20/0	59 - 20
16	2/0	79/0 - 60/0	79 - 60
17	1/0	89/0 - 80/0	89 - 80
18	0/11/0	99/0 - 90/0	99 - 90

برای مثال توجه کنید که اولین دامنه  $r1$  شامل ۲۰ مقدار ممکن است ، یعنی از ۰۰ تا ۰۱۹ این دامنه متناظر با احتمال تقاضای  $X = ۱۴$  است .

زمان تأخیر(هفته) $y$	احتمال زمان تأخیر $(y)p$	دامنه توزیع تجمعی $p(y)$	دامنه اعداد تصادفی $r2$
2	60/	59/ - 00/	59 - 00
3	30/	89/ - 60/	89 - 60
4	10/	99/ - 90/	99 - 90
	00/1		

توجه کنید که برای مقادیر  $r_1$  و  $r_2$  ما ۱۰۰ عدد تصادفی که احتمال انتخاب شدن همه آنها مساوی (۰/۰۱) است، انتخاب می کنیم. با توجه به این تعداد اعداد و دامنه  $r_1$  و  $r_2$ ، این دامنه ها همان احتمال مربوطه رامشخص می کنند. مثلاً زمان تأخیر ۲ هفته احتمالش ۰/۶۰ است و تعداد اعداد بین ۰ تا ۵۹ می شود ۶۰ عدد که احتمال آن نسبت به کل اعداد (۱۰۰) همان ۰/۶۰ است.

چون هدف تجزیه و تحلیل انبار، تعیین تعداد بهینه سفارش و بهترین زمان سفارش (نقطه سفارش مجدد) است، آزمایش شبیه سازی را با انتخاب تعداد سفارش ونقطه سفارش خاصی شروع می کنیم. شبیه سازی را با تعداد سفارش ۴۰ ترمینال ( $Q = 40$ ) در هر بار سفارش ونقطه سفارش مجدد ۳۰ ترمینال ( $R = 30$ ) شروع می کنیم. پس هر موقع موجودی انبار کمتر یا مساوی ۳۰ ترمینال باشد، ما ۴۰ عدد سفارش می دهیم. به تعویق انداختن سفارش در زمان کمبود مجاز نیست. وقتی در هفته  $n$  ام سفارشی داده می شود، در هفته  $n + y$  (که  $y$  زمان تأخیر است) سفارش دریافت می شود. در این مثال شرایط شروع شبیه سازی با فرض ۲۰ ترمینال کامپیوتری در انبار شروع شده تا به شرایط واقعی نزدیکتر باشد.

آزمایش شبیه سازی با  $Q = 40$  و  $R = 30$



آزمایش شبیه سازی که در جدول فوق انجام شده را به طور خلاصه توضیح می دهیم تا مراحل آن روشن شود ۱ - یک عدد تصادفی ،  $r1$  از جدول اعداد تصادفی انتخاب می شود . این مقدار ۰۰ است با توجه به دامنه ای که قبلا برای تعداد تصادفی تقاضا تشکیل دادیم ، ملاحظه می کنید که ۰۰ متناظر با تقاضای ۱۴ ترمینال است .

۲ - با کم کردن ۱۴ واحد تقاضا از سطح موجودی ۲۰ واحدی ، موجودی پایان هفته ۶ واحد می شود این مقدار زیر نقطه سفارش مجدد ۳۰ واحدی است ، بنابراین سفارش جدیدی داده می شود.

۳ - دومین عدد تصادفی ۲۲ از جدول اعداد تصادفی انتخاب می شود مقدار آن ۴۶ بوده که متناظر با زمان تأخیر ۲ هفته است، بنابراین سفارش ۴۰ عددی از تولید کننده در هفته ۳ ( یعنی  $3 = 2 + 1$  )  $n +$   $y =$  خواهد رسید.

۴ - چون یک سفارش داده شده است ، هزینه سفارش  $C(C)$  ۱۵۰ تومان می شود موجودی پایان هفته ۶ واحد است لذا هزینه انبارداری  $C(C)$  نداریم هزینه کل انبارداری برای هفته اول ۱۵۶ تومان خواهد رسید . همین مراحل نیز برای ۹ هفته باقیمانده تکرار شده است در پایان هزینه کل انبارداری ۱۸۵۸ تومان است که متوسط هزینه انبارداری هر هفته ۱۸۵/۸ تومان ( ۱۰ ۱۸۵۸ ) خواهد شد .

گرچه این آزمایش نحوه عمل یک شبیه سازی پیچیده انبار را برای چند متغیر تصادفی بخوبی نشان میدهد، ولی ناقص است. معمولا شبیه سازی ۱۰ دوره ای خیلی کم است و نمی توان از آن ، حالت پایدار واقعی را نتیجه گرفت. شبیه سازی ۱۰۰۰ دوره ای مناسبتر است، متوسط هزینه هفتگی انبار، هزینه ای است که فقط با یک نمونه (سفارش ۴۰ و نقطه سفارش ۳۰ واحدی) حاصل شده است. همچنین این آزمایش تنها معرف قسمتی از یک آزمایش کامل شبیه سازی است. برای تکمیل آزمایش شبیه سازی، چند آزمایش شبیه سازی، هر کدام با ترکیب های مختلف  $R$  و  $Q$  ضرورت دارد. ترکیبی از  $R$  و  $Q$  که به حداقل هزینه کل منتهی شود، مبین بهترین سیاست انبارداری است. بدیهی است که اجرای آزمایش به صورت دستی برای ترکیب های مختلف  $R$  و  $Q$  برای تعیین بهترین سیاست انبارداری عملا غیر ممکن است. تکرار آزمایشها برای ۱۰۰۰ هفته بجای ۱۰ هفته ، روزها وقت می گیرد ، شبیه سازی واقعی بایستی ، با کامپیوتر انجام شود. تنها چند ثانیه طول خواهد کشید که کامپیوتر کل این شبیه سازی را انجام دهد. به هر حال این مثال مختصر و خیلی ساده نیاز به شبیه سازی را هنگامی که پیچیدگی مسأله جوابهای تحلیلی را غیر ممکن می سازد، نشان می دهد. این واقعیت که  $R$  و  $Q$  به

همدیگر وابسته اند و هر دو باید به صورت همزمان در تعیین سیاست بهینه دخالت داده شوند و این واقعیت که هم تقاضای محصول و هم زمان تأخیر دریافت سفارش متغیرهای تصادفی هستند، حاکی از آن هستند که مسائلی وجود دارد که تحلیل آنها با هر نوع روش محاسباتی بجز شبیه سازی غیرممکن است. مثالی که ارائه شد و دارای متغیرهای تصادفی با توزیعهای احتمال گسسته بود، در اغلب موارد استفاده از متغیر تصادفی پیوسته به واقعیت نزدیکتر است. در اینجا مثالی از شبیه سازی با متغیر تصادفی پیوسته را ذکر می کنیم.

### شبیه سازی زمان خرابیهای ماشین

شرکت تولیدی براساس تجربه ، تصور می کند تعداد خرابیهای ماشینهایش بیش از حد است . مدیریت شرکت می خواهد رفتار فعلی کار (و خرابی) ماشین ها را در یک دور زمانی طولانی، برای درک بهتر رفتار سیستم شبیه سازی کند. پرسنل ستادی شرکت معتقدند که زمان بین خرابیهای ماشین به هفته با تقریب دارای توزیع یکنواخت به صورت  $f(x) = \frac{1}{4} \cdot 0 < x < 4$  است. شکل زیر نشان دهنده تابع احتمال پیوسته است که در آن متغیر تصادفی  $X$  نشان دهنده زمان (به هفته) بین خرابیها است. مساحت زیر منحنی معرف احتمال وقوع متغیر تصادفی  $X$  است بنابراین، مساحت زیر منحنی با یک است.

با محاسبه سطح زیر منحنی از صفر تا هر مقداری از متغیر تصادفی  $X$  می توان احتمال تجمعی مقدار  $X$  را تعیین کرد. ملاحظه می کنید که دامنه مقادیر متغیر تصادفی  $X$  ( $0 < x < 4$ ) با احتمالات تجمعی  $F(x) > 1$  متناظر است. از این رو برای هر مقدار  $F(x)$  در فاصله (۱ و ۰) مقداری برای  $X$  وجود دارد.

در مثال قبل متغیر تصادفی گسسته را با مقادیر مختلف  $X$  را با دامنه ای از توزیع تجمعی  $X$  مربوط می کردیم. ولی در حالتی که متغیر تصادفی پیوسته باشد، رابطه بین  $X$  و تابع توزیع تجمعی ،  $F(x)$  ، برقرار می شود. پس هر مقدار تابع توزیع تجمعی متناظر با مقدار خاصی از  $X$  است بنابراین ، هر عدد تصادفی  $I$  (بین ۰ و ۱) را می توان به طور مستقیم به مقدار متناظر  $X$  آن با استفاده از تابع توزیع تجمعی آن ترجمه کرد . چون  $F(x)$  در فاصله (۱ و ۰) تعریف می شود و عدد تصادفی نیز در همین فاصله (۱ و ۰) تعریف می شود، داریم:  $r = F(x) = I = X$  ۱۶۲ چون می خواهیم با اعداد تصادفی  $I$  مقادیر متغیر تصادفی  $X$  را به دست آوریم،

ابتدا بایستی، معادله را برای  $X$  بر حسب  $I$  حل کنیم لذا  $I=X^4$  بعد از به دست آوردن عدد تصادفی  $I$ ، جایگزینی آن در معادله  $I=X^4$  مقدار  $X$  متناظر آن به دست می آید. برای مثال، اگر  $I=0/25$  آنگاه  $X=2$  است. مولد فرایند  $I=X^4$  همان کاری را می کند که در مثال متغیر گسسته قبل دامنه برای  $I$  انجام می داد. سپس از مقادیر  $X$  در مدل شبیه سازی همانند مثالهای قبل استفاده می شود.

با مراجعه به مثال شرکت تولیدی، به یاد آورید که متغیر تصادفی پیوسته  $X$  زمان بین خرابیها به هفته است و مدیریت علاقه مند است خرابیها را برای یک سال شبیه سازی کند. اعداد تصادفی که در این آزمایش بایداستفاده شود، باید بین ۰ تا ۱ باشد، اگر این چنین نبود باید اعداد را بر عددی مناسب تقسیم کنیم تا اعداد بین ۰ تا ۱ بدست آید. سپس از این مقادیر، استفاده شده تا مقادیر تصادفی برای  $X$  براساس فرمول تولید شود  $I=X^4$  نتایج شبیه سازی در جدول صفحه بعد آمده است.

r	زمان بین خرابیها هفته	زمان تجمعی	تعداد تجمعی
		هفته	خرابیها
۰/۴۵	۲/۶۸	۲/۶۸	۱
۰/۹۰	۳/۸۰	۶/۴۸	۲
۰/۸۴	۳/۶۷	۱۰/۱۵	۳
۰/۱۷	۱/۶۵	۱۱/۸۰	۴
۰/۷۴	۳/۴۴	۱۵/۲۴	۵
۰/۹۴	۳/۸۸	۱۹/۱۲	۶
۰/۰۷	۱/۰۶	۲۰/۱۸	۷
۰/۱۵	۱/۵۵	۲۱/۷۳	۸
۰/۰۴	۱/۸۰	۲۲/۵۳	۹
۰/۳۱	۲/۲۳	۲۴/۷۶	۱۰
۰/۰۷	۱/۰۶	۲۵/۸۲	۱۱
۰/۹۹	۳/۹۸	۲۹/۸۰	۱۲
۰/۹۷	۳/۹۴	۳۳/۷۴	۱۳
۰/۷۳	۳/۴۲	۳۷/۱۶	۱۴
۰/۱۳۳	۱/۴۴	۳۸/۶۰	۱۵
۰/۰۳	۱/۷۰	۳۹/۳۰	۱۶
۰/۶۲	۳/۱۵	۴۲/۴۵	۱۷
۰/۴۷	۲/۷۴	۴۵/۱۹	۱۸
۰/۹۹	۳/۹۸	۴۹/۱۷	۱۹
۰/۷۵	۳/۴۶	۵۲/۶۳	۲۰

شبیه سازی برای ۵۲ هفته (یک سال) بعد از ۲۰ خرابی صورت گرفته است ، با استفاده از همین روش، شرکت می تواند خرابیهایی ماشین را برای یک دوره طولانی انجام دهد.

### کاربردهای شبیه سازی

اکنون با توجه به مفهوم شبیه سازی و توانایی آن در تجزیه و تحلیل سیستم ها و کمک به حل مسائل آنها و ازطرفی توجه به پیچیدگی سیستم هایی که در دنیای واقعی وجود دارند ، میتوان به راحتی میزان کاربرد فراوان شبیه سازی را حدس زد البته در این زمینه مطالعات و بررسی های نیز انجام شده است که نتایج حاصل از آنها مطلب فوق را تأیید می کنند . مثلا شانون در کتاب خود نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ای را که توسط شانون و بیلز از اعضای دائمی غیر دانشگاهی انجمن پژوهش عملیاتی آمریکا به دست آمده را ذکر می کند . حاصل این نتایج در جدول صفحه بعد نشان داده شده است .

### مطلوبیت فنون پژوهش عملیاتی برای افراد دست اندرکار

182/0	نظریه احتمال و استنباط آماری
150/0	تحلیل اقتصادی کارایی هزینه
143/0	شبیه سازی
12/0	برنامه ریزی خطی
097/0	کنترل موجودی ها
085/0	خط انتظار (صف بندی)
072/0	تحلیل شبکه ای (ترتیب دهی)
042/0	تحلیل جایگذاری
040/0	نظریه بازی ها
031/0	برنامه ریزی پریا

020/0 فنون جستجو

018/0 برنامه ریزی غیر خطی

می بینم برای محققینی که عملاً کار می کنند ، تنها احتمال و روش کارایی هزینه است که از لحاظ ارزش  
یامطلوبیت در مرتبه بالاتری از شبیه سازی قرار می گیرند .

از دیگر مطالعات و بررسی هایی که در زمینه کاربرد فنون مختلف تحقیق در عملیات انجام شده است  
، گزارش تورین است . این مطالعه در مورد ۵۰۰ شرکت که توسط مجله فورچون به عنوان  
بزرگترین شرکتهای عالم معرفی شده بود ، صورت گرفت . نتیجه این مطالعات در جدول زیر آمده است .

### کاربرد فنون مختلف تحقیق در عملیات

#### « گزارش تورین »

درصد استفاده	تعداد طرحها	نام فن
29	63	تحلیل آماری *
25	54	شبیه سازی
19	41	برنامه ریزی خطی
6	13	نظریه موجودی ها
6	13	نظریه شبکه ها
4	9	برنامه ریزی پویا
3	7	برنامه ریزی غیر خطی
1	2	نظریه صف
1	2	برنامه ریز ابتکاری
6	13	گوناگون

\* شامل احتمالات ، رگرسیون ، تفریب نمایی ، نمونه گیری آماری، آزمون فرض

علاوه بر این صرف ۷۴ میلیون دلار در سال مالی ۱۹۸۶ برای بررسیهای شبیه سازی توسط ارتش آمریکا کاربرد شبیه سازی را بیشتر آشکار می کند. بنابراین با وجود ظرافت و نداشتن پیچیدگی ریاضی، شبیه سازی یکی از پر مصرفترین فنون کمی است که در حل مسائل مدیریت به کار می رود.

### مزایا و معایب شبیه سازی ( شبیه سازی کامپیوتری )

در سراسر بحث از مزایا شبیه سازی به نوعی یاد شده است. در اینجا بعضی از مزایای شبیه سازی را فهرستوار عنوان می کنیم :

داشتن قدرت فشردن زمان. بدین ترتیب که به وسیله شبیه سازی ممکن است چندین سال از فعالیت یک سیستم را در چند ثانیه ملاحظه و بررسی نمود. در نتیجه، بررسی کننده قادر است چندین طرح از یک سیستم را در یک فرصت کوتاه مطالعه نموده و نتایج عملکرد آنها را مقایسه نماید.

داشتن قدرت گسترش زمان. به وسیله جمع آوری آمار و اطلاعات لازم در برنامه شبیه سازی، بررسی کننده قادر است جزئیات تغییراتی که در زمان واقعی قابل مشاهده نیستند مطالعه کند. بعبارتی دیگر تغییراتی که بعلت بالا بودن سرعت ایجاد آنها در سیستم واقعی قابل مشاهده یا مطالعه نمی باشند، در این روش قابل کنترل و بررسی هستند. این عمل با کمک کند نمودن زمان در مدل صورت می گیرد مانند کند نمودن سرعت حرکت یک فیلم برای بررسی حرکت هایی که در حال عادی قابل دقت و بررسی نیستند.

در یک بررسی گاه لازم است که حرکت زمان را متوقف کرده و نتایج بدست آمده تا این لحظه را مطالعه نمود و پس از تصمیم های لازم بررسی را از همان نقطه توقف یا از سر گرفت. لازمه این نیاز، این است که تمام پدیده های وابسته به سیستم وضعیت خود را تا شروع مجدد بررسی و آزمایش دقیقاً حفظ کنند. این امکان فقط در شبیه سازی ممکن است.

شبیه سازی این امکان را به تحلیل گر می دهد که یک آزمایش یا بررسی را با حفظ کلیه شرایط اولیه و رفتار سیستم بوسیله یک برنامه تکرار کند. در هر یک از دفعات تکرار، تنها مقادیر بعضی از پارامترها را به منظور دریافت اثر آنها بر رفتار سیستم و نتایج حاصل تغییر می دهد.

شبیه سازی قادر به بررسی تغییرات جدید در سیستم های موجود و مطالعه سیستم هایی که در مرحله طرح می باشند و هنوز هیچ گونه امکانات ، سرمایه و زمان برای پیشرفت یا ایجاد فیزیکی آنها صرف نشده است . همچنین بررسی و آزمایش سیستمهای فرضی که احیاناً ایجاد و مطالعه آنها بوسیله روش های دیگر غیر ممکن یا خطر ناک می باشد با این روش امکان پذیر است. و اما معایب شبیه سازی را می توان چنین عنوان کرد:

ایجاد و توسعه یک مدل خوب شبیه سازی اغلب گران و محتاج زمان است و نیاز به اطلاعات زیادی دارد که ممکن است به آسانی در دسترس نباشد. شانون به به نقل از فازستو در کتاب خود ذکر می کند که توسعه یک مدل خوب برنامه ریزی شرکتها ممکن است ۳ تا ۱۰ سال وقت بخواهد.

شبیه سازی می تواند چنین وانمود کند که وضعیت جهان واقعی را به دقت نشان می دهد، در حالی که واقعاً این کار را نمیکند . چندین مسئله ذاتی در شبیه سازی وجود دارند که اگر به درستی حل نشوند می توانند نتایج غلطی را به وجود آورند.

شبیه سازی دقیق نبوده و نمی توان درجه این بی دقتی را اندازه گرفت. تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر مقدار پارامترها تنها قسمتی از این مشکل را حل می کند.

معمولاً نتایج شبیه سازی به صورت عددی بوده و با هر تعداد ارقام اعشاری که آزمایشگر انتخاب کند ، معین می شوند در نتیجه، خطر بزرگ کردن اعداد، یعنی اعتبار دادن بیش از حد به اعداد پیش می آید.

در نهایت هر چند شبیه سازی روش بسیار با ارزش و مفید برای حل مسائل است ، ولی به طور حتم راه حل تمام مسائل مدیریت نیست. هنوز تا حد زیادی توسعه و استفاده از مدل‌های شبیه سازی به جای اینکه علم باشد هنر است. بنابراین مانند سایر هنرها تا حد زیادی فن ، موفقیت یا شکست را معین نمی کند بلکه عامل تعیین کننده ، چگونگی کار برد آن است.