وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

موسسه آموزش عالی غزالی

موضوع:

شبیه‌سازی (Simulation)

استاد مربوطه:

جناب آقای محمدامین زارع سلطانی

تهیه و تنظیم:

نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۳-۱۳۹۲

فهرست مطالب

شبیه سازی: ۲
۱. مطالعه مستقیم: ۲
۲. مطالعه غیرمستقیم ۳
شبیه سازی: ۳
تعریف سیستم: ۴
معایب شبیه سازی: ۴
۱) فرموله کردن مسئله: ۶
۲) تعیین اهداف و طرح کلی اجرایی: ۶
۳) طراحی مدل: ۶
۴) جمع‌آوری اطلاعات: ۷
۵) برنامه نویسی: ۷
۶) بازبینی برنامه کامپیوتری: ۷
۷) صحت و اعتبار مدل: ۷
۸) طراحی آزمایش: ۷
۹) اجرای مقدماتی و تجزیه و تحلیل نتایج: ۸
۱۰) تعیین تعداد اجرای مدل (اجرای بیشتر): ۸
۱۱) مستندسازی و گزارش نتایج: ۸
۱۲) پیاده‌سازی: ۸
دسته اول: شناخت مسئله (مرحله ۱و۲) ۹
دسته دوم: طراحی مدل و جمع‌آوری اطلاعات (شامل مراحل ۳ تا ۷) ۹
دسته سوم: اجرای مدل (شامل مراحل ۸ تا ۱۰) ۹
دسته چهارم: پیاده‌سازی (مراحل ۱۱ و ۱۲) ۹
سیستم (System): ۱۰
اجزاء سیستم: ۱۰
رفتار سیستم: ۱۰
عناصر سیستم: ۱۱
مدل‌سازی (Modeling): ۱۱
اجرای مدل: ۱۱
تقسیم‌بندی سیستم ها: ۱۲
۱) سیستم های ایستا (Static System) ۱۳
۲) سیستم های پویا (Dynamic System) ۱۳
۳) سیستمهای قطعی (Stochastic System): ۱۳
۴) سیستم های تصادفی (Stochastic System): ۱۳
۵) سیستم های پیوسته (Continuous System): ۱۳
۶) سیستم های گسسته (Discrete System): ۱۳

شبیه‌سازی:

شبیه‌سازی یعنی ساختن شبیه یک سیستم به هر روش یا صورت ممکن؛ که می‌تواند از بعضی جهات با سیستم مرجع متفاوت باشد. از لحاظ ایجاد و حدود و... ولی نباید از لحاظ رفتار با سیستم مرجع متفاوت باشد.

به عبارتی می‌توان گفت: «شبیه‌سازی ساختن شبیه یک سیستم با تمامی رفتارش» است.

- **نکته:** هدف شبیه‌سازی مطالعه و بررسی سیستم جامع است.

شیوه‌های مطالعه سیستم مرجع:

۱- مطالعه مستقیم

۲- مطالعه غیرمستقیم

۱. مطالعه مستقیم:

یعنی بررسی و مطالعه سیستم مرجع به صورت مستقیم و از نزدیک.

مهم‌ترین فرض مطالعه مستقیم وجود یک سیستم مرجع می‌باشد که این امر در کنترل کیفیت یک محصول تولیدی بسیار حیاتی است. به عبارتی وجود یک نمونه محصول حدود آزمایش اساس آن را تشکیل می‌دهد. ولی این مطالعه مستقیم همیشه جوابگوی ما نمی‌باشد و دارای عیوبی به شرح زیر می‌باشد:

۱- ممکن است سیستم مرجع در لحظه مطالعه حیات نداشته باشد. (مثل انفجار یک نیروگاه) به عبارتی ممکن است هیچ‌وقت به طور طبیعی و واقعی رخ ندهد.

۲- پارامترهای زمانی پیش آمدها و رخداد وقایع بسیار طولانی باشد و نتوان در زمان‌های کوتاه به آن‌ها دسترسی داشت. مثل وقوع زلزله و ... که ممکن است ۱۰ تا ۳۰ سال طول بکشد. در نتیجه برای مطالعه مستقیم این سیستم انتظار مدت طولانی اجتناب‌ناپذیر است.

۳- پارامترهای زمانی پیش آمدها و رخداد وقایع بسیار کوتاه باشد و نتوان از نظر مطالعه آن را مشاهده و برآورد کرد. مثل مطالعات اتمی و واکنش‌های شیمیایی؛ زمان رخدادها و واکنش‌های درون اتم در فاصله زمانی بسیار کوتاه بسیار زودگذر اتفاق می‌افتد که در نتیجه زمان کوتاه رخدادها نتایج مطالعه را پنهان می‌کند.

۴- مطالعه مستقیم یک سیستم از نظر اقتصادی و زمانی مقرون به صرفه نباشد. مثل شلیک یک موشک به هواپیمای در حال پرواز که مطالعه مستقیم آن از نظر اقتصادی دارای هزینه و بسیار خطرناک است.

۵- پیچیدگی سیستم مرجع و محدودیت‌های آن. مثل تجزیه و تحلیل کردن یک سیگنال ورودی از چندین ماهواره و یا الگوریتم‌های پیشرفته در زمینه محاسبات به زمین نشستن یک ماهواره در سیاره‌ای دیگر.

۲. مطالعه غیرمستقیم

یعنی زمانی که بنا بر دلایلی نتوان مطالعه مستقیم را انجام داد روش غیرمستقیم بکار می رود که بسیاری از معایب مطالعه مستقیم را پوشش می‌دهد و دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشد:

۱- امکان مطالعه یک سیستم مرجع قبل از ایجاد یا خلق یا پس از انهدام آن را فراهم می‌کند.

۲- پارامترهای زمانی سیستم حدود مطالعه قابل‌تغییر است.

۳- از نظر اقتصادی و زمانی بسیار مقرون به صرفه است.

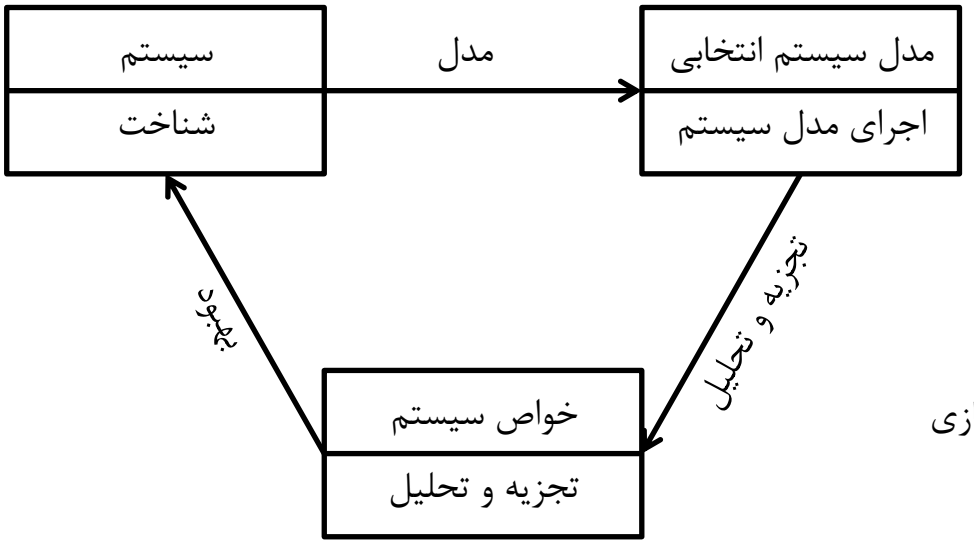
۴- محدودیت‌ها و خطرات ناشی از مطالعه مستقیم قابل رفع می‌باشد.

۵- مطالعه جزء به جزء سیستم و کنار هم قرار دادن اجزا را امکان‌پذیر می‌کند.

۶- حداکثر کارایی با این روش قابل دستیابی است.

شبیه‌سازی:

شبیه‌سازی فرآیندی از مدل‌سازی و اجرای مدل است.



روند شبیه سازی

شکل بالا ساختار شبیه‌سازی را طبق یک فرآیند مدل‌سازی، اجرای مدل و در نهایت آنالیز نتایج بیان می‌کند. سیستم مورد مطالعه طبق یک مدل مناسب انتخابی مدل‌سازی خواهد شد و چنانچه مدل نتواند اجرا شود به زبان شبیه‌سازی تبدیل و بر روی کامپیوتر اجرا می‌گردد. لذا باید بتوان به مدل سیستم مورد مطالعه داده‌ها را اعمال

نمود و سپس نتایج را بررسی کرد. این امر در صورتی ممکن است که مدل انتخابی قدرت دریافت داده‌ها، چرخش عملیات و ارائه خروجی‌های لازم را داشته باشد.

بنابراین دو نوع مدل داریم:

۱- مدل اجرایی: مدل باقدرت دریافت داده‌ها، اجرا و ارائه نتایج که نیاز به برنامه‌های کامپیوتری ندارد.

۲- مدل غیر اجرایی: مدل بدون قدرت دریافت داده، چرخش عملیات و ارائه نتایج و برای اجرا به برنامه کامپیوتری دارد.

تعریف سیستم:

مجموعه‌ای از اشیاء نامتجانس دارای اثر متقابل که با یکدیگر در ارتباط بوده و هدف خاصی را دنبال می‌کنند را گویند.

معایب شبیه‌سازی:

اغلب تحلیلگران در روبرو شدن با یک مسئله تمایل به یافتن سریع پاسخ دارند. حالا این سؤال مطرح می‌شود که آیا می‌توان به بهترین صورت و با کمترین هزینه پاسخ مسائل مزبور را از طریق شبیه‌سازی یافت؟ در بسیاری از موارد پاسخ به چنین سؤالی بنا بر دلایل زیر منفی است:

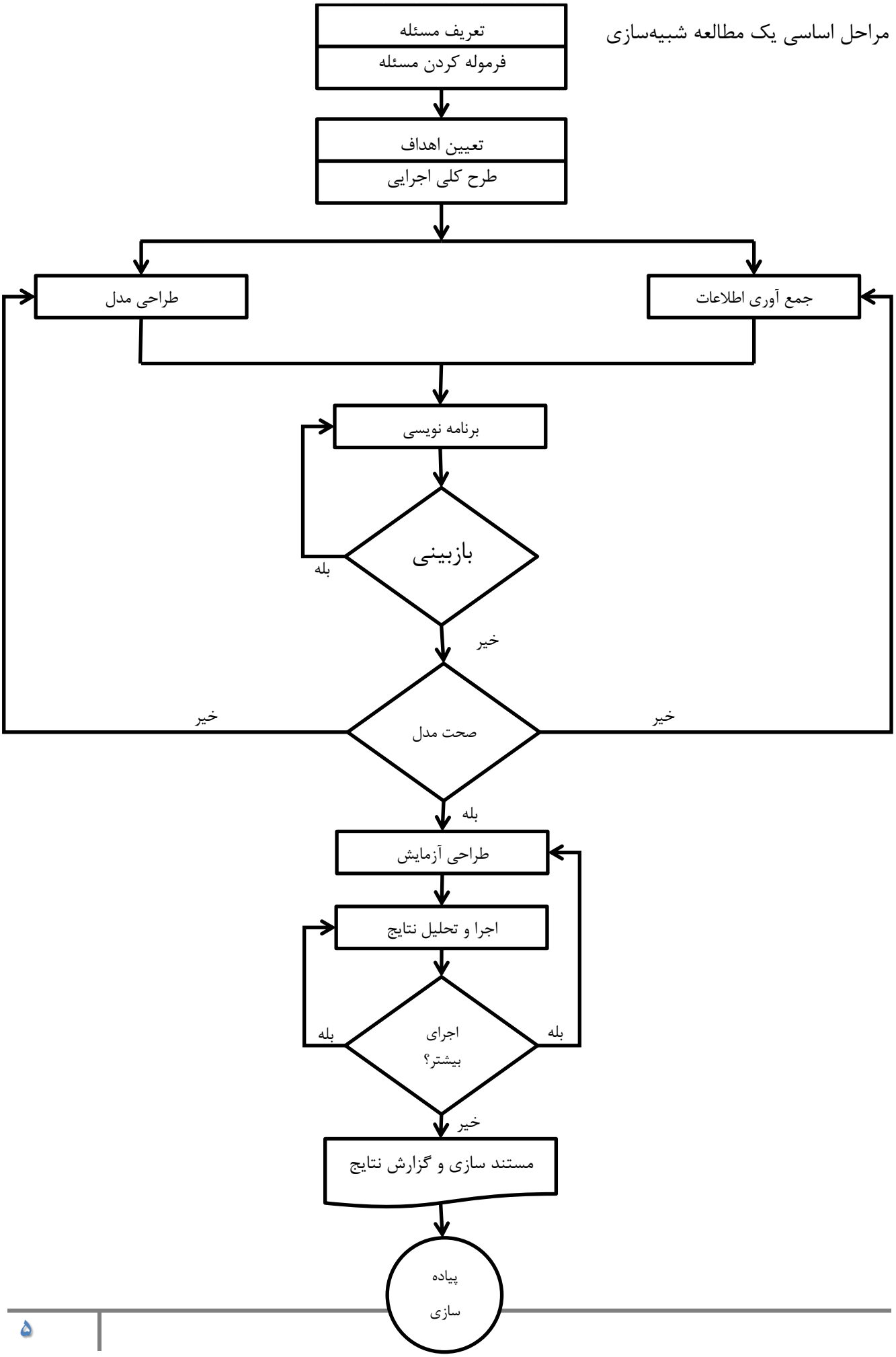
۱- طراحی یک مدل شبیه‌سازی مطلوب اغلب وقت‌گیر و پر هزینه است و نیاز به تخصص بالایی دارد.

۲- زمانی شبیه‌سازی وضعیت یک مسئله را به دقت منعکس می‌کند که بسیاری از ظرایف در طراحی و اجرای مدل شبیه‌سازی به صورت دقیق رعایت شود. در غیر این صورت نتایج نادرستی دارد.

۳- در بسیاری از مسائل، شبیه‌سازی ممکن است به عنوان یک روش دقیق شمرده نشود و میزان بی‌دقتی آن قابل اندازه‌گیری نباشد (البته امکان تحلیل دقت کار تا حدی از میزان بی‌دقتی آن می‌کاهد).

- **نکته:** با ارائه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و سیستمهای کامپیوتری معایب انتشار خطا و هزینه‌های طراحی و اجرا تا حدود بسیاری کاهش می‌یابد.

مراحل اساسی یک مطالعه شبیه‌سازی



۱) فرموله کردن مسئله:

هر مطالعه شبیه‌سازی با تعریف مسئله شروع می‌شود. این تعریف ممکن است:

الف) توسط مسئولان یا سیاست‌گذاران آن سیستم ارائه شود.

ب) توسط تحلیل گران مسئله انجام شود.

در صورتی که تعریف مسئله از سوی مسئولان یا سیاست‌گذاران آن سیستم انجام شود، تحلیل‌گران باید از درک صحیح آن اطمینان حاصل کند.

در صورتی که تعریف مسئله از سوی تحلیل‌گران صورت پذیرد، باید مسئولان و سیاست‌گذاران درک صحیح از تعاریف تحلیل‌گران به دست آورده و بر سر درستی آن به توافق برسند.

- **نکته ۱:** با پیشرفت مطالعه ممکن است تعریف مسئله تغییر کند و تجدیدنظرهایی صورت می‌پذیرد.
- **نکته ۲:** تعریف اولیه از مسئله معمولاً گنگ و مبهم است.

۲) تعیین اهداف و طرح کلی اجرایی:

در این مرحله باید تعیین کرد که آیا با توجه به تعریف مسئله و اهداف در نظر گرفته شده برای آن، شبیه‌سازی روش مناسبی برای تحلیل مسئله شمرده می‌شود یا خیر؟

طرح کلی اجرایی باید دربردارنده سیستم های مختلف تحت بررسی روشنی در زمینه ارزیابی میزان کارایی هر یک از آن‌ها باشد.

- **نکته:** طرح کلی اجرایی باید متضمن انجام یک بررسی در زمینه‌های تعداد افراد مورد نیاز، هزینه و مدت مربوط به برگزاری هر قسمت از کار باشد و پیش‌بینی‌های لازم در زمینه نتایج قابل حصول در انتهای هر قسمت را انجام دهد.

۳) طراحی مدل:

با توجه به خصوصیات اصلی سیستم، انتخاب و اصلاح کردن فرض‌های شکل‌دهنده سیستم و بالأخره کامل کردن مدل نحوی که نتایج تقریبی مفیدی از آن به دست آید.

- **نکته ۱:** بهترین شیوه‌ی کار آغاز با مدلی ساده و کامل کردن تدریجی آن است.
- **نکته ۲:** تطبیق جزء به جزء بین سیستم واقعی و مدل ضروری نیست. بلکه باید چکیده سیستم واقعی در مدل وارد شود.
- **نکته ۳:** توصیه می‌شود که استفاده‌کننده نهایی (End User) از مدل در مرحله طراحی و ساخت آن شرکت داده شود که منجر به کیفیت بهتر و اطمینان خاطر بیشتری برای استفاده‌کنندگان می‌شود.

۴) جمع‌آوری اطلاعات:

بخش قابل‌توجهی از زمان مورد نیاز برای اجرای یک مطالعه شبیه‌سازی به جمع‌آوری اطلاعات اختصاص می‌یابد و بر حسب پیچیدگی مدل عناصر اطلاعاتی مورد نیاز تغییر می‌کند و شروع زودهنگام آن ضروری است.

- **نکته ۱:** این امر چه نوع اطلاعاتی باید جمع‌آوری شود. تا حد زیادی توسط اهداف مطالعه شبیه‌سازی تعیین می‌شود.
- **نکته ۲:** ارتباط مداومی بین دو مرحله طراحی مدل و جمع‌آوری اطلاعات وجود دارد.

۵) برنامه‌نویسی:

یک مدل ساخته‌شده باید قادر به ذخیره‌سازی اطلاعات و پردازش آن‌ها را داشته باشد. بنابراین ترجمه مدل به یک زبان برنامه‌نویسی و اجرای آن توسط کامپیوتر اجتناب‌ناپذیر است.

طراح مدل باید تصمیم بگیرد که به منظور برنامه‌نویسی از الف) زبان‌های عمومی و ب) زبان‌های شبیه‌سازی استفاده کند.

۶) بازبینی برنامه کامپیوتری:

یعنی اینکه آیا برنامه کامپیوتری به نحو مناسبی کار می‌کند یا خیر؟

- **نکته:** اگر پارامترهای ورودی و ساختار منطقی مدل به طرز صحیحی داخل برنامه در نظر گرفته شود، می‌توان گفت مرحله تعیین صحت مدل کامل شده است.

۷) صحت و اعتبار مدل:

در این مرحله باید تعیین گردد که آیا مدل معرف دقیق سیستم واقعی است یا خیر؟

- **نکته:** این مرحله معمولاً در قالب یک فرآیند تکراری صورت می‌گیرد که ناظر به مقایسه مدل با عملکرد سیستم واقعی و اصلاح مدل بر اساس اطلاعات و نتایج حال از مقایسه مزبور است. این فرآیند آن قدر تکرار می‌شود تا یک مدل با دقت قابل قبول تشخیص داده شود.

۸) طراحی آزمایش:

در این مرحله ابتدا کلیه حالت‌های مختلف را که باید شبیه‌سازی شوند تعیین می‌کنند.

- **نکته ۱:** تصمیم‌گیری در این مورد بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اجرای مقدماتی مدل انجام می‌گیرد.

- **نکته ۲:** در مورد هر طراحی از سیستم که تصمیم به شبیه‌سازی گرفته می‌شود باید:

۱. طول زمان راه‌اندازی مدل

۲. طول زمان اجرای شبیه‌سازی

۳. تعداد بازسازی‌های مربوط به آن معین شود.

۹) اجرای مقدماتی و تجزیه و تحلیل نتایج:

در این مرحله طراحی‌های مختلف را اجرا و نتایج حاصل از آن‌ها را ارزیابی کرده و تخمین زده می‌شود که کدام طراحی آزمایش‌ها عملکرد بهتری دارند.

۱۰) تعیین تعداد اجرای مدل (اجرای بیشتر):

بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای مقدماتی تحلیل‌گر باید تصمیم بگیرد که آی به اجرای بیشتری نیاز است و یا نه؟ در صورت نیاز، طرح آزمایش آن‌ها باید چگونه انجام شود؟

۱۱) مستندسازی و گزارش نتایج:

اگر قرار باشد که برنامه مجدداً توسط تحلیل‌گران یا افراد دیگری مورد بررسی و استفاده قرار گیرد ممکن است چگونگی عملکرد برنامه ضروری باشد.

چگونگی عملکرد برنامه میزان اطمینان به برنامه را تا حد زیادی بالا می‌برد و تحلیل‌گران و سیاست گزاران بر اساس آن به تصمیم‌گیری می‌پردازند.

- **نکته ۱:** وجود گزارش عملکرد و توضیحات کافی در برنامه، جهت اصلاح آن به سادگی و بروز رسانی تغییرات کمک فراوانی می‌کند.
- **نکته ۲:** معیاری برای بررسی اینکه آیا با استفاده از این گزارش‌ها و نتایج واقعی مدل مرجع این شبیه‌ساز قابل‌اطمینان است یا خیر؟

۱۲) پیاده‌سازی:

موفقیت این مرحله بستگی به کیفیت اجرای یازده مرحله قبلی دارد و همچنین موفقیت مرحله پیاده‌سازی وابسته به این امر است که تحلیل‌گر تا چه میزان موفق به دخالت دادن استفاده‌کننده نهایی در سراسر شبیه‌سازی شده باشد.

فرآیند ساخت مدل شبیه‌سازی را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد.

دسته اول: شناخت مسئله (مرحله ۱و۲)

۱. تعریف مسئله

۲. تعیین اهداف و طرح کلی

دسته دوم: طراحی مدل و جمع‌آوری اطلاعات (شامل مراحل ۳ تا ۷)

۳. طراحی مدل

۴. جمع‌آوری اطلاعات

۵. برنامه‌نویسی

۶. تصحیح برنامه

۷. تعیین اعتبار و صحت مدل

- **نکته:** دخالت ندادن استفاده‌کننده از مدل در این قسمت می‌تواند عواقب نامطلوبی در مرحله کاربرد آن در پی داشته باشد.

دسته سوم: اجرای مدل (شامل مراحل ۸ تا ۱۰)

۸. طراحی آزمایش‌ها

۹. اجرای مقدماتی

۱۰. اجراهای اضافی

دسته چهارم: پیاده‌سازی (مراحل ۱۱ و ۱۲)

۱۱. مستندسازی و گزارش نتایج

۱۲. پیاده‌سازی

- **نکته:** مهم‌ترین مرحله در فرآیند ساخت مدل مرحله ۷ یعنی تعیین اعتبار و صحت مدل است. زیرا یک مدل غیر معتبر نتایج نادرستی تولید می‌کند که کاربرد آن‌ها می‌تواند خطرناک و یا پر هزینه باشد.

سیستم (System):

سیستم مجموعه‌ای از اشیاء نامتجانس دارای اثر متقابل که با یکدیگر در ارتباط بوده و هدف خاصی را دنبال می‌کنند.

اجزاء سیستم:

۱. اشیاء (Objects)
۲. پیش آمدها یا وقایع (Events)
۳. وضعیت‌ها (States)

مانند یک FSM

یک سیستم از لحاظ رخ داد وقایع به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱. سیستم های هم‌روند (Concurrent System)
۲. سیستم های ترتیبی (Sequential System)

مانند یک CPU که قادر به انجام چندین فرآیند به طور همروند یا موازی باشد و یا CPUایی که قادر به انجام ترتیبی پردازش‌ها و یا فرآیندها باشد.

- **نکته:** رخداد پیش آمدها اساس چرخه حیات یک سیستم هستند.

نکته قابل‌توجه اینکه مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم های همروند و موازی و اجرای آن‌ها پیچیده و مشکل خواهد بود.

رفتار سیستم:

۱. تصادفی (غیرقطعی): چنانچه نتوان رفتار یک سیستم را به طور قطع تعیین و پیش‌بینی کرد آن رفتار را رفتار تصادفی می‌گویند (مانند حرکت مولکول‌های هوا)
۲. غیر تصادفی (قطعی): چناچه بتوان رفتار یک سیستم را به طور قطع تعیین و پیش‌بینی کرد رفتار قطعی یا غیر تصادفی گفته می‌شود. (مانند واردکردن پسورد و وارد شدن به سایت یا منوی کاربر).

عناصر سیستم:

عناصر سیستم عبارت‌اند از:

۱. موجودیت‌ها (Entities)

۲. اشیاء (Objects)

۳. صفات (Attributes)

۴. فعالیت‌ها (Activities)

۵. وقایع (Events)

۶. وضعیت‌ها (States)

۷. موضوعات (Subjects)

- **نکته ۱:** هر موضوعی یا شی یا موجودیت به ازای پیش آمدهای از حالتی به حالت دیگر می رود.
- **نکته ۲:** فعالیت یا فعالیت‌هایی انجام می‌گیرد.
- **نکته ۳:** وقایع یا پیش‌آمدها حالت سیستم را عوض می‌کنند در قبال رخداد وقایع فعالیت‌هایی انجام می‌پذیرد که صفات بعضی از اشیاء را عوض می‌کند.

مدل‌سازی (Modeling):

اساس و رکن اصلی شبیه‌سازی، مدل‌سازی یا انتخاب مدل است و پارامتر تعیین‌کننده‌ای است، لذا باید در ابتدا انواع مدل، نکات و ظرایف آن را به طور کامل شناخت.

مدل:

هر نوع ارائه یا بیان یک سیستم را مدل گویند. مدل رفتار سیستم را بیان می‌کند و از خواص مدل ساده‌سازی، و ایجاد یکنواختی و هماهنگی است.

اجرای مدل:

بعضی از مدل‌ها دارای قدرت و قابلیت اجرا نمی‌باشند. یعنی نمی‌توان به آن‌ها داده تزریق کرد و به نتایج مورد نظر رسید. به عنوان مثال «فلوچارت‌های متداول مدل برنامه» فاقد این قدرت می‌باشند و تنها جریان حرکت و روابط را مشخص می‌کنند.

ولی بعضی از مدل‌ها قابلیت اجرا را دارند مانند «شبکه چتری» مدلی است که در مُد اجرایی با اعمال داده و چرخش آن می‌تواند نتایج میانی و نهایی را جهت آنالیز رفتاری سیستم مدل شده به دست آورد.

- **نکته ۱:** با استفاده از مدل شبکه چتری می‌توان فلوچارت‌های مطرح‌شده را نیز مدل‌سازی و اجرا کرد. (بدون برنامه‌نویسی)
- **نکته ۲:** اگر مدل انتخابی فاقد قدرت اجرایی باشد باید مدل سیستم تحت مطالعه به یک برنامه شبیه‌سازی خاص تبدیل شود و بر روی کامپیوتر اجرا شود.

می‌توان روند شبیه‌سازی برای یک مسئله را به صورت زیر خلاصه کرد و پاسخ‌های آن‌ها را به صورت مستدل و مستند ارائه کرد:

۱. آیا سیستم مرجع مورد نظر یک سیستم همروند است یا خیر؟
۲. مدل مناسب انتخابی جهت مدل‌سازی چیست؟ مدل x یا مدل y
۳. آیا مدل انتخابی قدرت مدل‌سازی سیستم مرجع را دارد یا خیر؟
۴. ماهیت رفتار پدیده‌های سیستم مرجع چیست؟ قطعی/تصادفی
۵. آیا مدل سیستم مرجع کامل است یا خیر؟
۶. تعیین عمر یا روند شبیه‌سازی چگونه است؟ T واحد یا W واحد
۷. آیا مدل انتخابی قدرت اجرا یا دریافت داده دارد یا خیر؟
۸. دریافت نتایج از تزریق داده‌ها چگونه است؟ جداول/گراف
۹. آنالیز داده‌های تزریقی و نتایج چگونه صورت می‌گیرد؟ تئوری ریاضیات و آمار/ استدلال خروجی
۱۰. آیا مدل‌سازی و شبیه‌سازی تصادفی است یا غیر تصادفی؟
۱۱. اگر مدل نتواند اجرا گردد؛ رفتار سیستم به یک زبان شبیه‌سازی تبدیل و روی کامپیوتر به چه زبانی اجرا شود.

تقسیم‌بندی سیستم ها:

۱- سیستم های ایستا (Static System) یا سیستم های پویا (Dynamic System)
۲- سیستم های تصادفی (Stochastic) یا سیستم های قطعی (Deterministic)
۳- سیستم های گسسته (Discrete) یا پیوسته (Continuous)

۱) سیستم های ایستا (Static System)

سیستمی است که در آن هیچ پارامتری به زمان (t) بستگی ندارد. در واقع این سیستم ها وابسته به زمان نیست و با گذر زمان رفتار مشخص و شناخته‌شده‌ای دارد.

مانند تمامی سیستم‌هایی که در توالی زمان رفتار شناخته‌شده‌ای از خود بروز می‌دهند و سالیان سال رفتارشان نباید تغییر کند.

۲) سیستم های پویا (Dynamic System)

سیستمی است که رفتارش با گذشت زمان متغیر است و در معادله‌ی رفتاری سیستم یکی از پارامترهای مهم t (زمان) است. مانند رفتار یک صف در بانک جهت سرویس‌دهی به مشتریان که ورود و خروج صف از طول زمان متغییر است. یا معادله حرکت $X = vt + x_0$ که به t وابسته است.

۳) سیستم‌های قطعی (Stochastic System):

سیستمی است که رفتارش مشخص و شناخته شده است و هیچ پارامتر تصادفی در آن نیست. رفتار سیستم این سیستمها به طور قطع و یقین معلوم است و احتمالات هیچ نقشی به تعیین پارامترهای سیستم ندارد.

چنانچه ورودی‌هایش حاضر باشند خروجی مشخص دارد و هیچ ورودی اتفاقی در آن رخ نمی‌دهد.

۴) سیستم های تصادفی (Stochastic System):

سیستم های تصادفی، سیستمی است که رفتارش وابسته به ورودی‌های تصادفی است و دارای حداقل یک پارامتر ورودی می‌باشد و بنابراین نمی‌توان احتمالات را از معادله رفتاری آن خارج نمود. زمانی که نویزی در یک سیستم قطعی اثر می‌گذارد می‌توان آن را به یک سیستم تصادفی تشبیه کرد. مانند رفتار یک صف در بانک جهت سرویس مشتریان که ورود و خروج نفرات و زمان سرویس گرفتن آن‌ها به صورت تصادفی می‌باشد.

۵) سیستم های پیوسته (Continuous System):

سیستم پیوسته، سیستمی که در آن تغییر وضعیت‌ها به آرامی یا پیوسته با زمان تغییر می‌کند. مانند ریان آب در یک رودخانه یا زادوولد انسان‌ها. مدل شناخت رفتار سیستم‌های پیوسته اغلب مدل‌سازی ریاضی است و معمولاً با معادلات دیفرانسیل بیان و حل می‌گردند.

۶) سیستم های گسسته (Discrete System):

سیستمی است که در آن تغییر وضعیت‌ها در مقاطع زمانی (گسسته) صورت می‌گیرد؛ مانند ورود مشتریان به صف که در مقاطع زمانی معین انجام می‌گیرد؛ یعنی پیش آمدهایی که وضعیت سیستم را عوض می‌کنند و در زمان‌های گسسته اتفاق می‌افتد.