

فصل اول

کلیات و تعاریف اولیه

✓ تعاریف مربوط به سیگنال، سیستم و مدل

✓ انواع مدل

✓ کاربردهای مدلسازی

✓ روشهای مدلسازی

مقدمه:

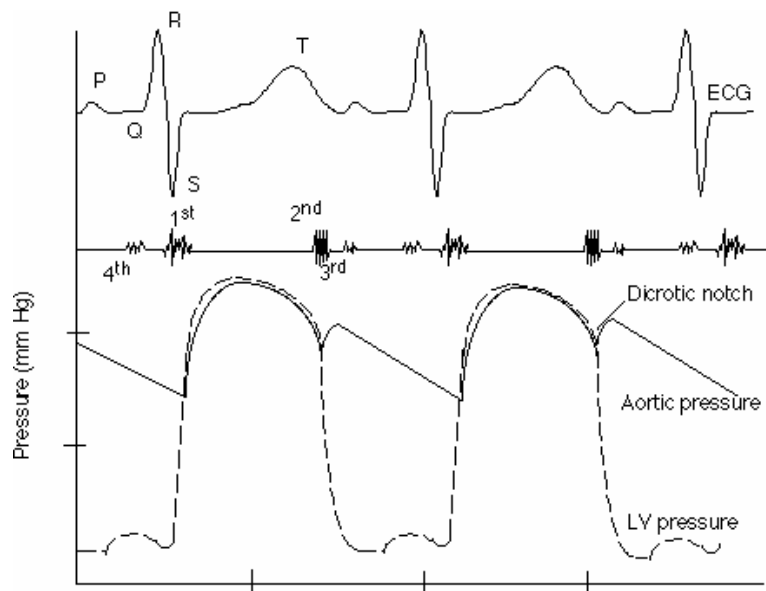
در این فصل ابتدا تعریفهای سیگنال، سیستم و مدلسازی بیان شده و سپس به انواع مدلها و کاربرد آنها در زمینه های طراحی، آموزش و پژوهش اشاره خواهد شد.

۱-۱ تعاریف مربوط به سیگنال، سیستم و مدل:

در علم مهندسی واژه های سیگنال، سیستم و مدل از جایگاه خاصی برخوردار است و در بسیاری از رشته ها و دروس مختلف مورد استفاده دارد. لذا ابتدا لازم است که مروری بر تعاریف این واژه ها داشته باشیم.

سیگنال:

تابعی از یک (عموماً زمان) یا چند متغیر است که نمایانگر یک پدیده یا کمیت فیزیکی مانند ولتاژ یا جریان میباشد. بعنوان مثال تغییرات سیگنالهای الکتروکاردیو گرام (ECG)، صدای قلب و تغییرات فشار خون در بطن و آئورت بر حسب زمان در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱ سیگنالهای نمونه ECG، صدای قلب و فشاربطن و آئورت

سیستم:

در خصوص سیستم تعاریف متنوعی ارائه گردیده است که شاید بعنوان یک تعریف کلی که در زمینه های غیر مهندسی نیز میتواند بکار گرفته شود تعریف زیر میباشد: "سیستم به مجموعه ای از اجزا و المانها گفته میشود که با هم برای رسیدن به هدف یا اهداف خاصی در تعامل هستند". در این تعریف توجه به چند نکته از اهمیت بر خوردار است. یکی اینکه سیستم دارای اجزائی است. دوم اینکه این اجزاء دارای ارتباط و هماهنگی با یکدیگر میباشد. سوم هدف و یا اهدافی که ترکیب این اجزاء دنبال می کنند.

از دید ریاضی و مهندسی سیستم را میتوان نگاشتی در نظر گرفت که یک یا چند سیگنال را که به آنها ورودی گفته میشود؛ به یک یا چند سیگنال دیگر که خروجی نامیده میشوند تصویر میکند.

خروجی:

خروجی (های) یک سیستم عبارت است از متغییر(های) خاصی از سیستم که به دلائلی مورد توجه میباشد.

ورودی:

ورودی عامل خارجی است که بر روی سیستم تاثیر میگذارد که میتوان آنرا به دو صورت در نظر گرفت: ورودیهای خواسته و ورودیهای ناخواسته.

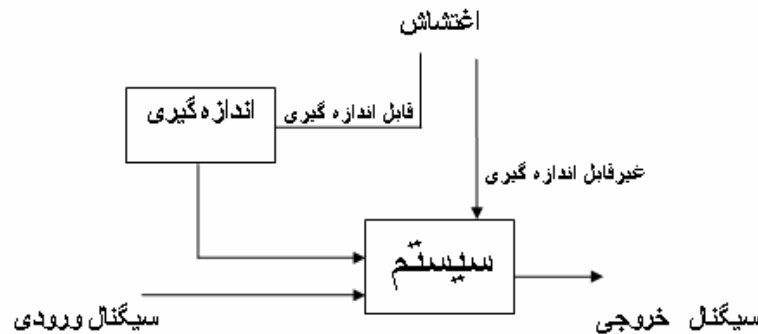
- **ورودی خواسته:** ورودی های خواسته به عوامل خارجی اطلاق میشود که در اختیار و قابل کنترل بوده و بر سیستم اثر میگذارند.

- **ورودی ناخواسته:** ورودی های ناخواسته به عوامل خارجی گفته میشود که قابل تنظیم یا کنترل نبوده لیکن سیستم و خروجی آن را تحت تاثیر قرار میدهند. گاهی از ورودیهای ناخواسته یک سیستم بعنوان اغتشاش، نویز، دریافت، آرتیفکت، نامبرده میشود. در سیستمهای کنترل یکی از اهداف، عموماً حذف اثرات این عوامل ناخواسته در خروجی است. در مدلسازی و اندازه گیری نیز توجه به این عوامل در افزایش دقت تخمین و کاهش خطاها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. گاهی اوقات از سیگنال نویز میتوان بعنوان مدلی برای عوامل ناشناخته داخل (نویز ذاتی) سیستم نیز استفاده نمود. بعنوان مثال نویزهای القائی، بار مکانیکی روی یک موتور الکتریکی، نیروی بادی که به اتومبیل یا هواپیما وارد میشود، امواجی که به کشتی برخورد میکند، از جمله عوامل و اغتشاشات خارجی بوده و نویز

حرارتی در یک مدار ترانزستوری، تولرانسه‌های المانهای یک مدار، ... از جمله عوامل و اغتشاشات داخلی یک سیستم هستند.

اغتشاشات وارده به یک سیستم را میتوان به دو دسته قابل اندازه گیری و غیر قابل اندازه گیری تقسیم نمود. اغتشاشاتی که قابل اندازه گیری هستند را میتوان بعنوان ورودی معین به سیستم در نظر گرفت و اثر آنها را در خروجی حذف یا جبران نمود (بعنوان مثال روش جلوسو (Feed forward) در کنترل). اما اغتشاشات غیر قابل اندازه گیری تنها از مطالعه اثر آنها در خروجی سیستم قابل مشاهده و احساس میباشند. چنانچه این دسته از اغتشاشات تکرار پذیر و متناوب باشند، تکرار آزمایش عموماً امکان مدل نمودن و پیش بینی آن را در آزمایشات بعد فراهم مینماید. در غیر اینصورت از مدلهای تصادفی (غیر قابل پیش بینی) میتوان برای اغتشاش استفاده نمود.

در شکل ۱-۲ یک سیستم با یک ورودی و اغتشاش قابل اندازه گیری و غیر قابل اندازه گیری مشاهده می شود.



شکل ۱-۲ نمایی از یک سیستم و عوامل وارده به آن

سیستمهای دینامیکی:

سیستمی که خروجی و متغیرهای حالت به زمانهایی غیر از حال وابسته هستند دینامیکی (حافظه دارد) می باشد. برای مثال تمام معادلات دیفرانسیل و دیفرانس بیان کننده سیستمهای دینامیکی هستند.

سیستم استاتیک:

این سیستم‌ها حافظه ندارند و خروجی فقط تابع لحظه فعلی است. برای مثال سیستم $y(t) = ax(t)$ که x ورودی، y خروجی و a یک عدد ثابت یا متغیر با زمان است، یک سیستم استاتیکی می باشد.

مدل:

مدل عبارت است از تصویر و یا نمایشی از یک سیستم و روابط آن که در شرایط خاص و به منظوری خاص ایجاد شده است. باید توجه کرد که هر مدل در یک محدوده خاص که به همراه مدل تعریف و مشخص میشود، اعتبار دارد. برای یک سیستم مکانیکی میتوان مدلهای مختلف و متنوعی ارائه نمود. مدل مناسب برای یک سیستم ساده ترین مدلی است که دقت و اعتبار لازم را نیز داشته باشد. هر چند پیچیده تر شدن مدل ممکن است در برخی شرایط افزایش دقت را به همراه داشته باشد، لیکن محاسبه و تخمین مدل با افزایش پیچیدگی مدل مشکل تر شده و عموماً با افزایش خطاهای محاسباتی همراه است. بنابراین مدلهای پیچیده تر ممکن است لزوماً دارای دقت بیشتری نباشند. همچنین یادآوری میگردد که استفاده از یک مدل پیچیده نیز مشکلات و هزینه های خود را دارد.

نکته دیگر اینکه هیچ مدلی قادر به نمایش همه جنبه های سیستم فیزیکی در همه شرایط نمی باشد بعبارت دیگر مدل ایده آل (کامل و جامع) وجود واقعی ندارد.

به عنوان مثال سایه یک فرد بر دیوار، مدلی از آن فرد است. لیکن عکس فرد ممکن است بسته به نیاز، مدل بهتری باشد. فیلم فرد اطلاعات بیشتری را نسبت به دو مدل قبل میتواند در اختیار بگذارد، البته با هزینه بیشتر.

مثال دیگر مدار معادل تونن یک شبکه مداری است. این مدل برای محاسبات فرضاً جریان یک بار خارجی اعتبار دارد لیکن اگر بخواهیم جریان شاخه ای از مداری که تونن آن محاسبه گردیده را بدست آوریم این مدل اعتبار نخواهد داشت. بعنوان مثال دیگر میتوان به مدل یک مقاومت اهمی (شکل ۱-۳) اشاره نمود. این مدل در شرایط خاصی از دما، فرکانس، ... اعتبار دارد و در صورت تغییر هر یک از پارامترهای فوق نیاز هست که مدل دیگری استفاده نموده یا مدل فوق اصلاح گردد.

$$R=10\text{ K}\Omega$$



شکل ۱-۳ مدل یک مقاومت اهمی

۱-۲ انواع مدل:

مدلها را میتوان از دیدگاههای مختلف تقسیم بندی نمود که یکی از این تقسیم بندی ها بصورت زیر است:

- مدل ذهنی (کیفی):

این مدل بعنوان مثال میتواند تجربیات یک فرد خبره و یا متخصص در یک زمینه باشد که در فکر و ذهن او قرار دارد. این مدل میتواند بیان کیفی از روابط موجود در سیستم باشد. بیشتر مدلهای ارائه شده در علوم انسانی یا اقتصادی از این نوع هستند. بعنوان مثال تحلیلی را که یک کارشناس خبره مسائل اقتصادی یا سیاسی از شرایط اقتصادی یا سیاسی روز ارائه میدهد بر اثر تجربیاتی است که سالهای متمادی بدست آمده است و میتوان آنرا مدل ذهنی در نظر گرفت.

- مدل فیزیکی:

مدلهایی هستند که ساختار فیزیکی دارند، مانند مجسمه یک فرد، ماکت یک اتوموبیل یا کارخانه و....

- مدل کمی و سمبولیک:

این نوع از مدلها که به صورت کمی و سمبولیک به بررسی سیستمها می پردازد از جمله مهمترین مدلهای کمی، مدلهای ریاضی هستند:

مدلهای ریاضی:

مدلهای ریاضی خصوصا در مهندسی از اهمیت بسزائی برخوردار هستند. در این مدلها نمایش ارتباطات سیستم در قالب روابط ریاضی بیان میشود. این روابط ممکن است در سطح اجزاء سیستم و پارامترهای مهم آن (مانند متغیرهای حالت) مورد نیاز باشد و یا اینکه تنها در سطح عملکرد کلی سیستم و ارتباطات ورودی - خروجی (تابع تبدیل سیستم) مطرح باشد.

تکیه این درس عموماً بر استخراج مدل ریاضی مناسب برای سیستمهای فیزیکی است. برای سیستمهای دینامیکی، روابط ریاضی حاصل در غالب معادلات دیفرانسیل (برای سیستمهای زمان-پیوسته) یا معادلات دیفرانس (برای سیستمهای زمان-گسسته) بیان میشود. بسته به سیستم و مدل مورد نظر این معادلات ممکن است خطی، غیر خطی، ثابت با زمان، و یا متغیر با زمان باشند. یادآوری میشود که سیستمهای فیزیکی عموماً غیر خطی و متغیر با زمان هستند که ممکن است بسته به شرایط و محدوده بکارگیری آنها بتوان از مدلهای خطی و ثابت با زمان برای آنها استفاده نمود.

– مدلهای گرافیکی:

در مهندسی مدلهای گرافیکی اغلب برای نمایش سیستمهای غیر خطی استاتیکی (مانند اشباع یک ترانزیستور یا مشخصه غیر خطی دیود) و یا سیستمهای دینامیکی مرتبه پائین (بعنوان مثال صفحه فاز یک سیستم درجه دوم غیر خطی) بکار می روند. همچنین دیاگرام بد (پاسخ فرکانسی) یک سیستم دینامیکی میتواند مدل گرافیکی از سیستم باشد.

– مدلهای کامپیوتری:

امروزه با افزایش توانمندیهای کامپیوتر، استفاده از آن در ارائه صورتهای مختلف مدلسازی (گرافیکی، ریاضی، ...) و شبیه سازی آنها روزافزون است.

– سایر روشها:

با گسترش علوم و جهت شبیه سازی سیستمهای غیرخطی یا پیچیده تر در دهه های اخیر روشهای نوین و هوشمندی نیز ارائه گردیده است که پرداختن به این روشها خارج از حوصله درس حاضر است. از جمله این روشها میتوان به مدلهای شبکه عصبی، مدلهای فازی و نروفازی، مدلهای آشوب گونه و فرکتال، مدلهای وقایع گسسته و هایبرید، ... اشاره نمود.

۱-۳ کاربردهای مدلسازی:

از جمله کاربردهای مدلسازی میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

– آنالیز و تحلیل سیستمها:

برای درک بهتر از عملکرد یک سیستم و خطایابی های احتمالی آن می توان از یک مدل استفاده کرد. تحلیل یک مدار الکتریکی و محاسبه جریان و ولتاژهای نقاط مورد نیاز آن

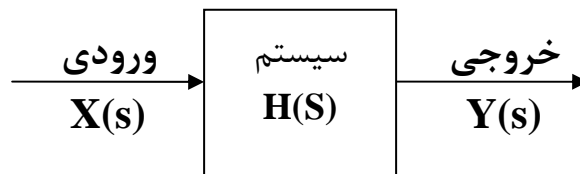
عموماً بر اساس مدل آن مدار انجام گرفته و سپس با نتایج حاصل از مدار واقعی در آزمایشگاه مقایسه میشود.

مدلسازی سیستمهای بیولوژیکی مانند شبکه های عصبی این امکان را فراهم کرده است که با تحلیل مهندسی مدلهای آنها، در فهم مکانیزم عملکرد این سیستمها موفقیتهای شایان توجهی حاصل گردد.

- طراحی کنترل کننده های سیستمها:

همانطور که قبلاً اشاره شده سیستم دارای ورودی و خروجی است و ارتباط دهنده این دو سیستم و مشخصه آن (مانند تابع تبدیل) است (شکل ۱-۴):

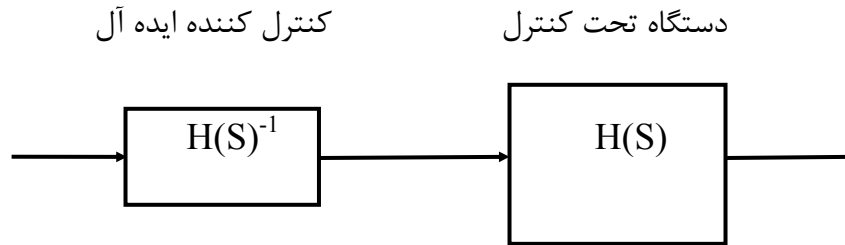
$$Y(s) = H(s)X(s)$$



شکل ۱-۴ یک سیستم با ورودی و خروجی آن

با داشتن دو پارامتر از سه پارامتر فوق میتوان پارامتر سوم را تعیین نمود. در صورت معلوم بودن ورودی، $X(s)$ ، و خروجی، $Y(s)$ ، و مجهول بودن (مشخصه) سیستم، $H(s)$ ، مسئله مدلسازی گفته میشود. در صورت معلوم بودن سیستم و خروجی مطلوب و مجهول بودن ورودی به سیستم (سیگنال کنترل)، مسئله کنترل نامیده میشود. چنانچه سیستم و ورودی آن معلوم باشند و خروجی مجهول باشد، مسئله پیش بینی است.

در بحث کنترل، عموماً از مدل سیستم جهت محاسبه کنترل کننده استفاده میشود. در حالت ایده آل کنترل کننده باید مدل معکوس سیستم باشد تا بتوان خروجی واقعی را برابر با هر مقدار مطلوب تنظیم کرد (شکل ۱-۵). بعبارت دیگر بدست آوردن مدل معکوس سیستم مستقیماً کنترل کننده را بدست میدهد. گاهی اوقات بجای استفاده از مدل معکوس سیستم در مسیر رفت، از مدل مستقیم سیستم در مسیر برگشت (فیدبک) استفاده میشود، مانند روش کنترل پیش بین.



شکل ۱-۵ مدل معکوس سیستم به عنوان کنترل کننده ایده آل

- پیش بینی:

از مهمترین کاربردهای مدلسازی پیش بینی رفتار یا خروجی سیستمها در زمانهای آینده و قبل از مشاهده اتفاق افتادن خروجی سیستم واقعی می باشد. بعنوان مثال فردی که می خواهد از یک خیابان عبور نماید، باید قبل از عبور پیش بینی از احتمال عبور از خیابان را داشته باشد. این پیش بینی بر اساس تجربیات قبلی فرد (مدل ذهنی) انجام میشود. جهت این پیش بینی، شخص باید از فاصله اتومبیل (های) در حال حرکت به سمت وی، سرعت و شتاب اتومبیل، عرض خیابان، توانائی خود در عبور از خیابان (سرعت عبور فرد)، و برآورد صحیحی داشته باشد تا بتواند بر اساس آنها عبور سالم و بدون برخورد و یا احتمال تصادف را پیش بینی نماید.

- آموزش:

یکی دیگر از کاربردهای مدلسازی در آموزش است. در بسیاری از سیستمهای از جمله سیستمهای پزشکی، امکان انجام مستقیم بسیاری از آزمایشات بر روی سیستم واقعی (مانند بدن انسان) بدلائلی امکان پذیر و مجاز نبوده و یا در بر دارنده هزینه بسیار بالائی میباشد. استفاده از مدلها و شبیه سازها در این شرایط یکی از راه حل هاست. امروزه استفاده از شبیه سازهای پرواز، و یا بدن انسان یا بیمار، یکی از روشهای متداول در آموزش خلبانان، پزشکان، و یا جراحان میباشد که علاوه بر کاهش هزینه های مالی و جانی در آموزش و کسب مهارت بیشتر افراد. امکان انجام آزمایشاتی را که در شرایط عادی امکان آن وجود ندارد، فراهم می سازد.

- طراحی دستگاه ها و سیستمها:

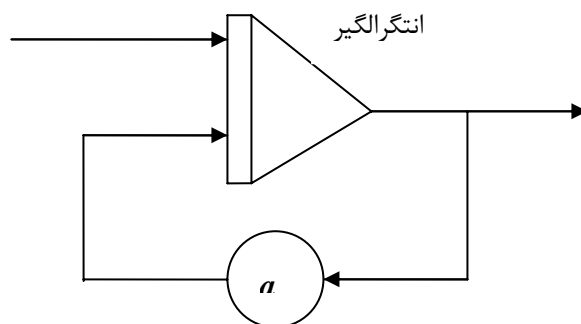
هر چند استفاده از مدلها در طراحی سیستمها سابقه چند هزار ساله دارد لیکن نقطه عطف استفاده مستقیم و وسیع از مدلسازی در طراحی دستگاههای مهندسی به زمان جنگ جهانی دوم بر میگردد. در چند هزار سال قبل سران نظامی اقوام مختلف برای حمله به

دشمن از رسم نقشه های حمله یا ساختن ماکتها منطقه جنگ و محل استقرار نیروها بهره می جستند. در زمان جنگ جهانی دوم برای طراحی دستگاهها و ادوات جنگی و صنعتی از کامپیوترهای آنالوگ (شبه ساز) کمک گرفته میشد. بعنوان مثال برای پیدا کردن ضریب کمک فنر اتومبیلها در حالت حرکت، بجای ساخت نمونه های صنعتی متعدد و آزمایش هر یک در اتومبیل، کافی است که پتانسیومتر متناظر با آن کمک فنر در مدل آنالوگ تنظیم شده و پاسخ مناسب بر روی فرضاً اسیلوسکوپ مشاهده گردد. استفاده از روش مدلسازی و شبه سازی در طراحی و تولید علاوه بر کاهش بسیار زیاد هزینه، سرعت عمل را نیاز بسیار بالا می برد.

همانطور که اشاره شد کامپیوترهای آنالوگ از مهمترین ابزار مدلسازی بودند که در مدلسازی سیستمهای دینامیکی به کار گرفته شدند. در این کامپیوترها از مدارهای تقویت کننده های عملیاتی (در ابتدا لامپی، سپس ترانزیستوری و مدارهای مجتمع) جهت ساخت انتگرال گیرها، جمع کننده ها، ... و مقاومتهای اهمی و پتانسیومترهای دقیق جهت ایجاد ضرائب مناسب معادلات دیفرانسیل و تنظیم ضرائب آنها، استفاده میگردد. مزیت عمده کامپیوترهای آنالوگ نسبت به کامپیوترهای دیجیتال که بعدها جایگزین آن شد، سرعت بالای انجام محاسبات است که در کامپیوترهای آنالوگ بصورت سخت افزاری و سرعت بسیار بالا انجام میشود. لیکن استفاده از آنالوگ کامپیوتر مشکل زیادی را نیز به همراه داشت که از آنجمله میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- به اشباع رفتن تقویت کننده های عملیاتی و لزوم مقیاس بندی دامنه
- وجود عوامل غیرایده آل در تقویت کننده ها (مانند آفست و دریفت) و مقاومتهای، و تغییر مشخصات مدار در اثر تغییر عوامل محیطی مانند دما مثل آفست و ...
- نیاز به تغییر مقیاس زمانی برای سیستمهای خیلی کند یا خیلی سریع
- مصرف توان و انرژی نسبتاً زیاد و ابعاد فیزیکی بزرگ (خصوصاً در انواع اولیه و برای مدلسازی سیستمهای پیچیده تر)
- مشکلات ذخیره سازی اطلاعات
- مشکلات و محدودیتهای فوق افزایش توانمندی کامپیوترهای دیجیتال و نرم افزارهای موجود باعث گردیده که امروزه کامپیوترهای دیجیتال جایگزین کامپیوترهای آنالوگ در

مدلسازی و شبیه سازی شوند. در شکل ۶-۱ مدار معادل کامپیوتر آنالوگ برای یک سیستم دینامیکی درجه یک رسم شده است.



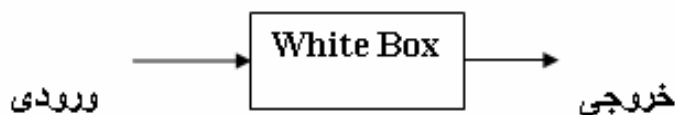
شکل ۶-۱ مدار معادل آنالوگ کامپیوتر برای یک سیستم دینامیکی درجه یک

۴-۱ روشهای مدلسازی:

به طور کلی روشهای مدلسازی را میتوان به سه روش تقسیم کرد: روش تحلیلی ، روش تجربی (شناسایی سیستم)، و روش تلفیقی که در ادامه به توضیح هر کدام می پردازیم.

۱- روش تحلیلی:

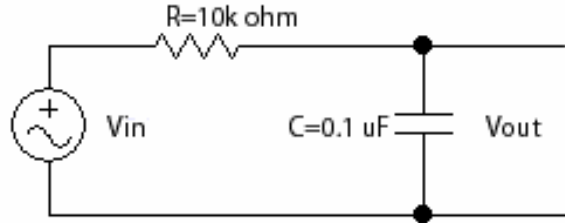
روش تحلیلی در مدلسازی هنگامی بکار میرود که اطلاعات و شناخت ما از سیستم و اجزاء آن کامل باشد (White box) ، شکل ۷-۱. در اینصورت با آگاهی از روابط حاکم بر سیستم و دانستن روط اجزاء آن، امکان بیان روابط کمی یا ریاضی برای ورودی - خروجی سیستم وجود دارد.



شکل ۷-۱ نمایش یک سیستم در مدلسازی تحلیلی

برای مثال مدار شکل ۸-۱ را در نظر می گیریم ونسبت خروجی به ورودی را برای آن بدست می آوریم:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{cs}}{\frac{1}{cs} + R} = \frac{1}{Rcs + 1} = \frac{1}{0.001s + 1} = \frac{1000}{s + 1000}$$



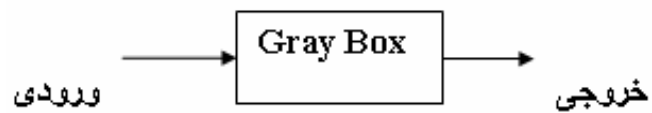
شکل ۸-۱ مدار الکتریکی برای بدست آوردن تابع تبدیل

۲- روش تجربی (شناسایی سیستم):

در این روش از سیستم و اجزاء آن هیچگونه اطلاعی نداریم و با اعمال تحریک (ورودی) به سیستم و اندازه گیری پاسخ (خروجی) آن، رفتار سیستم از روی ارتباط ورودی و خروجی بدست آمده و در غالب یک مدل برای سیستم پیشنهاد می شود. این مدل ممکن است هیچ ارتباط معناداری با اجزاء سیستم نداشته باشد و به عبارت دیگر متغیرهای آن تعبیر فیزیکی نداشته باشند و تنها نمایانگر عملکرد و رفتار سیستم باشند.

۳- روش ترکیبی:

گاهی اوقات نه ما اطلاعات کامل و کافی از یک سیستم داریم و نه اینگونه است که هیچگونه اطلاعاتی از سیستم نداشته باشیم بلکه اطلاعات ما از سیستم اطلاعات نسبی (Gray Box) است (شکل ۹-۱). در اینحالت ممکن است از تلفیق و ترکیبی از روشهای تحلیلی و تجربی (انجام آزمایشات) استفاده کرد. برای مثال در شکل ۸-۱ ممکن است ساختار مدار را بدانیم که از مقاومت و خازن بصورت نشان داده شده در شکل تشکیل یافته است ولی از مقادیر مقاومت و خازن اطلاعی نداشته باشیم. در اینحالت میتوان با استفاده از روش تحلیلی مدل پارامتری (تابع تبدیل) سیستم را ابتدا بدست آورد و سپس با استفاده از یکسری آزمایشات مناسب مقادیر پارامترهای مجهول، یعنی مقدار مقاومت و ظرفیت خازن را بدست آورد.



شکل ۹-۱ روش تلفیقی

در فصول بعد در مورد روشهای مختلف مدلسازی توضیحات بیشتری داده خواهد شد.