به نام خدا

آموزش مقدماتی
مدلسازی سیستم‌های مهندسی
با استفاده از زبان
Modelica

هیئت مترجمین و مؤلفین:

عبدالحمید انصاری نسب مینابی

عباس حریفی

فرهاد محمودی

آیدین پناهی

مهرزاد انصاری پور

میلاد شفیعی

سیده صدیقه موسوی

سال ۱۳۹۳

چرا این کتاب را باید بخوانید؟

خواه یک مهندس طراح در یک شرکت بزرگ باشید، خواه یک دانشجو یا دانش‌آموز بارها پیش آمده است که آرزو کنید، ای‌کاش یک آزمایشگاه برای ارزیابی طراحی‌ها و ایده‌های خودم در اختیار داشتم، یا بهتر از آن، ای‌کاش می‌شد یک سیستم واقعی را بدون آزمایش تجربی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد، کاش یک آزمایشگاه مجازی در کامپیوتر خود داشتید که می‌شد از آن برای شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف استفاده نمود، ای‌کاش می‌شد محاسبات یک سیستم را آسان‌تر انجام داد، ای‌کاش می‌شد بدون دردسرها و پیچیدگی‌های زبانهای برنامه‌نویسی، از کامپیوتر برای انجام محاسبات یک سیستم استفاده کرد. ای‌کاش می‌شد سیستم‌هایی را که به‌زحمت برنامه‌نویسی نموده‌اید به‌راحتی توسعه می‌دادید یا از اجزائی که خلق نموده‌اید در محاسبات دیگر استفاده می‌نمودید و لازم نبود همه‌چیز را از ابتدا بنویسید، زبان Modelica برای همین کار خلق شده است و پاسخی به این آرزوهاست.

زبان Modelica امکان شبیه‌سازی و مدلسازی آسان هر سیستمی را برای شما فراهم می‌کند. این سیستم می‌تواند شامل قطعات الکتریکی، مکانیکی، مغناطیسی، هیدرولیکی، سیالاتی و ... به‌صورت توأم باشد. پس هر یک از سامانه‌های دنیای واقعی را می‌توانید با این زبان مدلسازی نمایید. این سیستم می‌تواند یک موتور الکتریکی، ربات، اتومبیل، بدن یک موجود زنده و هر سیستم قابل‌تصوری باشد. امکان شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته نیز در این زبان فراهم شده است. این نکته که با کامپیوتر می‌توان هر دستگاهی را شبیه‌سازی نمود بسیار هیجان‌انگیز است. اگر شما هم می‌خواهید مدلسازی سیستم‌های واقعی را انجام دهید، این کتاب برای شماست. این ابزار می‌تواند قدرت و سرعت شما را در شبیه‌سازی و انجام محاسبات سیستم‌های مختلف به طرز چشمگیری افزایش دهد.

چگونه از این کتاب استفاده نمایید؟

دو روش را برای استفاده از این کتاب در نظر گرفته‌ایم.

روش اول استفاده از این کتاب به‌عنوان خودآموز مدلسازی به زبان Modelica است. چیدمان فصول این کتاب برای همین منظور است؛ بنابراین کتاب را از ابتدا شروع نمایید و به ترتیب تا پایان ادامه دهید. برای یادگیری بهتر تمرینات آخر هر فصل را انجام دهید.

روش دوم استفاده از این کتاب به‌عنوان متن کمک‌آموزشی یک ترم درس مدلسازی سیستم‌های مهندسی یا سایر دروس مرتبط است. در این صورت دو تا سه جلسه را به آموزش موارد ابتدایی محیط SystemModeler و OpenModelica اختصاص دهید و مطالعه کامل بخش‌های اول و دوم را به دانشجویان بسپارید. سایر جلسات را به آموزش بخش سوم اختصاص دهید، همزمان با پیشرفت در بخش سوم از تمرینات عملی مهیا شده استفاده نموده و دانشجویان را تشویق نمایید تا سامانه‌های مختلفی را عملاً شبیه‌سازی نمایند.

مقدمه

تلاش برای انجام محاسبات در مسائل مختلف به کمک کامپیوتر اغلب از برنامه‌نویسی شروع می‌شود؛ اما در زبانهای برنامه‌نویسی سنتی شما باید دانش فراوانی از برنامه‌نویسی داشته باشید و اغلب، زمان لازم برای برنامه‌نویسی بیش از زمانی است که صرف شناخت ساختار مسئله می‌گردد. این فرآیند اغلب از چنان پیچیدگی برخوردار است که با زبانهای برنامه‌نویسی موجود، کمتر کسی به شبیه‌سازی سیستم‌هایی با پیچیدگی تجهیزات واقعی فکر می‌کند و حتی اگر کسی یک سیستم را با زبانهای برنامه‌نویسی سنتی مدلسازی نماید، نگهداری برنامه تهیه شده، توسعه و استفاده مجدد و استفاده از آن برای سایر سیستم‌های مشابه کار بسیار سختی است.

بااین‌حال مفهوم و امکاناتی که مدلسازی در اختیار طراحان، سازندگان، برنامه‌ریزان و استفاده‌کنندگان سیستم‌های مختلف قرار می‌دهد، چنان ارزشمند است که تلاش‌های بسیاری برای شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف توسط بشر انجام شده است. این تلاش‌ها با اختراع کامپیوتر، با محاسبات فضاپیماها و تسلیحات نظامی شروع شد و این روزها با وجود کامپیوترهای خانگی، مدلسازی راه خود را به پروژه‌های دانشجویی و تحقیقاتی کوچک باز کرده است. درهرحال شبیه‌سازی به معنی شناخت یک سیستم و دستیابی به دانش آن و انجام محاسبات با کمک کامپیوتر است، با شبیه‌سازی می‌توان شرایط بهینه طرح‌های موجود را یافت و برای بهبود آنها برنامه‌ریزی نمود یا قبل از ساخت طرح‌های جدید به بررسی و ارزیابی آنها پرداخته و تأثیر پارامترهای مختلف را بر کارکرد یا قیمت طرح نهایی به دست آورد. از مزیت‌های مهم مدلسازی امکان تحلیل سیستم با هزینه بسیار کمتر از آزمایش و داشتن اطلاعات فراوان و سریع در خصوص سیستم حتی قبل از ساختن مدل آن است.

مدلسازی دنیای امروز به دو صورت انجام می‌گیرد، روش اول، مدلسازی با محاسبات بر روی المان‌های بسیار کوچک که معادلات بنیادی را حل می‌نمایند که شامل روش‌های المان محدود و حجم محدود است. در این روش هرچه تعداد المان‌ها بیشتر و اندازه آنها کوچک‌تر باشد، کل سیستم بهتر مدلسازی خواهد شد؛ اما افزایش تعداد المان‌ها بار محاسباتی سنگینی خواهد داشت. روش دوم، مدلسازی با محاسبات بر پایه معادلات مهندسی و داشتن دیدگاه سیستمی به همه قطعات است؛ مانند آنچه در علم ترمودینامیکی وجود دارد. این روش بسیار سریع‌تر از روش اول است؛ اما دقت آن محدود به‌دقت معادلات مهندسی به‌کاررفته است. با توجه به بهبود روزافزون معادلات مهندسی روش دوم بسیار نویدبخش است. در سال‌های اخیر استفاده همزمان از هر دو روش نیز جایگاه خود را پیدا کرده‌اند.

تاکنون نرم‌افزارهای شبیه‌سازی زیادی برای مدلسازی با روش دوم ایجاد شده‌اند؛ اما اغلب آنها قطعات و امکانات محدودی دارند. اغلب فقط یک فرایند خاص را مدلسازی می‌کنند و نمی‌توانند نیاز صنعت پرشتاب امروز را برآورده سازند. صنعت امروز دست‌به‌گریبان مسائل پیچیده‌ای است که نیازمند ابزاری با قابلیت مدلسازی فرایندها و قطعات جدید و توسعه قطعات و فرایندهای موجود است. تلاش

برای ایجاد چنین ساختار کارآمدی با معرفی زبانهای شبیه‌سازی، مسیر مشخصی به خود گرفت. این زبان‌ها امکان شبیه‌سازی هر سیستم مهندسی را به‌راحتی فراهم می‌کنند. این زبان‌ها با حذف بسیاری از جزئیات برنامه‌نویسی امکان تمرکز مهندسان بر معادلات مدل را فراهم نموده‌اند. با این شرایط لازم نیست شما برنامه‌نویس باشید تا بتوانید یک سیستم را مدلسازی نمایید. فقط کافی است که دانش کافی در مورد سیستم داشته باشید. سایر فعالیت‌های لازم برای شبیه‌سازی را زبانهای شبیه‌سازی انجام خواهند داد. زبان Modelica ازجمله این زبان‌هاست که در سال ۱۹۹۶ خلق گردید و از همان ابتدا امکان مدلسازی سیستم‌هایی با فیزیک مختلف را به‌صورت توأم فراهم نمود. ساختار باز این زبان امکان گسترش آن را برای بسیاری از پژوهشگران فراهم نموده است و در حال حاضر کتابخانه‌های مختلفی برای سیستم‌های مختلف نوشته شده است که می‌توانند همزمان برای شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند. زبان Modelica در کنار داشتن کتابخانه گسترده‌ای از قطعات مختلف، امکان نوشتن قطعات جدید را نیز به‌راحتی فراهم نموده است.

این کتاب شما را با برخی از امکانات این زبان و مدلسازی مهندسی آشنا خواهد نمود. ساختار مدلسازی که ما در این کتاب از آن استفاده خواهیم کرد، تقسیم سیستم‌های بزرگ مهندسی به اجزاء کوچکی است که بلوک نامیده می‌شود. هر بلوک هدف مشخصی را در سیستم برآورده می‌کند و می‌تواند جایگزین یک فرآیند ساده شود. معادلات حاکم بر این بلوک‌ها شامل معادلات جبری دیفرانسیلی است و این معادلات از نوشتن قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم مانند معادلات بقای جرم، انرژی، جریان الکتریکی و جاذبه و ... به دست می‌آید و دینامیک سیستم را شامل می‌گردد. با حل کل این معادلات می‌توان سیستم را تحلیل نمود.

برای گردآوری مطالب کتاب و نحوه قرارگیری مطالب تلاش زیادی شده است. این کتاب قبل از چاپ بارها ویرایش شده است تا هم ازنظر محتوی علمی به‌روز بوده و هم از یک روند مناسب برای آموزش زبان Modelica برخوردار باشد. مثل هر نوشته دیگری این نوشته نیز خالی از اشکال نبوده و جای بهبود فراوان دارد؛ بنابراین از شما خوانندگان محترم تقاضا می‌کنم ما را از نظرات ارزشمند خویش بهره‌مند سازید.

عبدالحمید انصاری نسب

پاییز ۹۳

فهرست مطالب

بخش اول - آشنایی با نرم‌افزار SYSTEMMODELER ۱

فصل ۱ محیط شبیه‌سازی ۱

۱-۱) ساختار نرم‌افزار SYSTEMMODELER ۱

۱-۲) نصب نرم‌افزار ۱

۱-۳) فعال‌سازی نرم‌افزار ۳

۱-۴) تنظیم کامپایلر ۴

۱-۵) اتصال به MATHEMATICA ۵

۱-۶) ساختار نرم‌افزار SYSTEMMODELER ۶

فصل ۲ اولین مدلسازی ۹

۲-۱) مدل HELLO WORLD ۹

۲-۲) برای مدل یک آیکون بسازید ۱۴

۲-۳) معادلات دیفرانسیل ۱۵

فصل ۳ سیستم‌های فیزیکی مختلف به‌صورت توأم ۱۹

۳-۱) موتور DC ۱۹

۳-۲) محور صلب و محور انعطاف‌پذیر ۲۷

۳-۳) سیستم کنترل ۳۰

۳-۴) تحلیل میزان حساسیت ۳۴

فصل ۴ مدار الکتریکی ساده بر پایه قطعات ۳۹

۴-۱) مدلسازی سببی و غیرسببی ۳۹

۴-۲) مدلسازی جریان سیگنال ۴۰

۴-۳) مدار بر پایه جریان سیگنال (سببی) ۴۱

۴-۴) مدار بر اساس قطعات (مدلسازی غیرسببی) ۴۴

فصل ۵ ایجاد قطعات توسط کاربر – آونگ مرکب ۴۷
۵-۱) آونگ ۴۷
۵-۲) مدل آونگ مرکب ۵۰

فصل ۶ توابع خارجی و سیگنال CHIRP ۵۳
۶-۱) تابع CHIRP ۵۳
۶-۲) مدلسازی ۵۳

فصل ۷ شبیه‌سازی مخازن ذخیره ۵۹
۷-۱) مدل ساده مخزن ۵۹
۷-۲) مدل مخزن بر اساس قطعات ۶۱
۷-۲-۱) درگاه‌ها ۶۴
۷-۲-۲) ایجاد تابع محدودیت برای شیرکنترل ۶۵
۷-۲-۳) اجزای مخزن ۶۶
۷-۲-۴) کنترل‌کننده ۶۸
۷-۲-۵) سیستم مخزن کوچک ۶۹
۷-۳) مخزن با کنترل‌کننده PID پیوسته ۷۰
۷-۴) سیستم با سه مخزن ۷۳

فصل ۸ آونگ معکوس ۷۵
۸-۱) آونگ معکوس ۷۵

فصل ۹ توصیه‌هایی در مدلسازی ۷۷
۹-۱) مقادیر اولیه ۷۷
۹-۱-۱) خاصیت START ۷۷
۹-۱-۲) مقادیر حدس ۷۸
۹-۱-۳) بخش معادلات و الگوریتم‌های مقداردهی اولیه ۷۸
۹-۲) اتفاقات ۷۹
۹-۳) کتابخانه MULTIBODY ۷۹

۹-۳-۱) مقدار اولیه ۸۰
۹-۳-۲) زاویه و موقعیت شیء ۸۱
۹-۳-۳) پویانمایی ۸۱
۹-۳-۴) استفاده از شکل‌های CAD ۸۲
۹-۴) پیشنهادهای عمومی ۸۳

بخش دوم - محیط OPENMODELICA ۸۵

فصل ۱۰ نرم‌افزار OPENMODELICA ۸۵
۱۰-۱) OMNOTEBOOK و DRMODELICA ۸۶
۱۰-۲) ویرایشگر متن با برنامه‌نویسی LITERATE ۸۶
۱۰-۲-۱) ویرایشگر متن OMNOTEBOOK و MATHEMATICA ۸۶
۱۰-۳) سیستم آموزشی DRMODELICA ۸۸
۱۰-۳-۱) سلول‌ها ۹۲
۱۰-۳-۲) مکان‌نماها ۹۳
۱۰-۴) ایجاد مدل مخزن ۹۴
۱۰-۵) ایجاد مدل پیشرفته مخزن ۹۷
۱۰-۵-۱) شیرکنترل ۹۸

فصل ۱۱ آشنایی با OMSHELL ۱۰۱
۱۱-۱) بخش INTERACTIVE SESSION همراه با مثال ۱۰۱
۱۱-۱-۱) شروع کار با INTERACTIVE SESSION ۱۰۱
۱۱-۱-۲) امتحان کردن تابع BUBBLESORT ۱۰۲
۱۱-۱-۳) کتابخانه MODELICA و مدل DCMOTOR ۱۰۳
۱۱-۱-۴) تابع VAL ۱۰۴
۱۱-۱-۵) مدل‌های BOUNCINGBALL و SWITCH ۱۰۴
۱۱-۱-۶) پاک کردن تمامی مدل‌ها ۱۰۶
۱۱-۱-۷) مدل VANDERPOL و رسم پارامتری ۱۰۶
۱۱-۱-۸) برنامه‌نویسی با دستور IF و حلقه‌های FOR-LOOP و WHILE-LOOP ۱۰۷

۱۱-۱-۹) متغیرها، توابع و انواع متغیرها ۱۰۸
۱۱-۱-۱۰) دریافت اطلاعات در خصوص علت خطاها ۱۰۹
۱۱-۱-۱۱) سایر قالب‌های خروجی شبیه‌سازی ۱۰۹
۱۱-۱-۱۲) استفاده از توابع خارجی ۱۱۰
۱۱-۱-۱۳) فراخوانی MODEL QUERY و MANIPULATION API ۱۱۲
۱۱-۱-۱۴) خروج از OPENMODELICA ۱۱۴
۱۱-۲) تولید XML مدل ۱۱۴
۱۱-۳) خروجی مدل در قالب MATLAB ۱۱۴
۱۱-۴) دستوراتی برای INTERACTIVE SESSION HANDLER ۱۱۵

فصل ۱۲ نمودارهای ۲ بعدی ۱۱۷
۱۲-۱) رسم نمودار ساده دوبعدی ۱۱۷
۱۲-۲) توابع رسم و گزینه‌های آنها ۱۱۸

فصل ۱۳ ویرایشگر گرافیکی OMEDIT ۱۱۹
۱۳-۱) درباره OMEDIT ۱۱۹
۱۳-۲) چگونه OMEDIT را اجرا کنیم؟ ۱۱۹
۱۳-۳) مدل مقدماتی در OMEDIT ۱۲۰
۱۳-۳-۱) ایجاد فایل جدید ۱۲۱
۱۳-۳-۱) برقراری ارتباط بین دو مدل ۱۲۲
۱۳-۳-۲) شبیه‌سازی مدل ۱۲۳
۱۳-۳-۳) رسم متغیرها از مدل‌های شبیه‌سازی شده ۱۲۳
۱۳-۴) محیط کاری ۱۲۴
۱۳-۴-۱) پنجره کتابخانه ۱۲۴
۱۳-۴-۲) پنجره طراحی ۱۲۶
۱۳-۴-۳) پنجره متغیرها ۱۲۶
۱۳-۴-۴) پنجره پیغام ۱۲۶
۱۳-۴-۵) پنجره جستجو ۱۲۶
۱۳-۵) پنجره‌های محاوره‌ای ۱۲۷
۱۳-۵-۱) محاوره کلاس جدید ۱۲۷

۱۳-۵-۲) محاوره شبیه‌سازی ۱۲۷
۱۳-۵-۳) محاوره خواص و پارامترهای مدل ۱۲۷
۱۳-۶) نوارابزار ۱۲۸

فصل ۱۴ کتابخانه‌های آماده قطعات ۱۲۹
۱۴-۱) کتابخانه‌های همراه با OPENMODELICA ۱۲۹
۱۴-۲) کتابخانه‌های تجاری زبان ۱۳۰

بخش سوم - آموزش زبان MODELICA ۱۳۱

فصل ۱۵ مروری کوتاه بر MODELICA ۱۳۱
۱۵-۱) شروع ۱۳۲
۱۵-۲) متغیرها ۱۳۴
۱۵-۳) توضیحات ۱۳۶
۱۵-۴) ثابت‌ها ۱۳۶
۱۵-۵) مدلسازی شیءگرای ریاضی ۱۳۷
۱۵-۶) کلاس‌ها و نمونه‌ها ۱۳۸
۱۵-۶-۱) ایجاد نمونه‌ها ۱۳۹
۱۵-۶-۲) مقداردهی اولیه ۱۴۰
۱۵-۶-۳) کلاس‌های محدود ۱۴۱
۱۵-۶-۴) استفاده دوباره از کلاس‌های اصلاح‌شده ۱۴۱
۱۵-۶-۵) کلاس‌های داخلی ۱۴۲
۱۵-۷) توارث ۱۴۳
۱۵-۸) کلاس‌های عمومی ۱۴۴
۱۵-۸-۱) اشیاء به‌عنوان پارامترهای قابل‌جایگزینی کلاس ۱۴۴
۱۵-۸-۲) انواع به‌عنوان پارامترهای قابل‌جایگزینی کلاس ۱۴۵
۱۵-۹) معادلات ۱۴۵
۱۵-۹-۱) ساختار معادلات تکراری ۱۴۷
۱۵-۱۰) مدلسازی فیزیکی غیرسببی ۱۴۷

۱۵-۱۰-۱) مدلسازی فیزیکی در مقابل مدلسازی سببی ۱۴۸
۱۵-۱۱) قابلیت مدلسازی جزءبه‌جزء ۱۵۰
۱۵-۱۱-۱) اجزاء ۱۵۰
۱۵-۱۱-۲) دیاگرام اتصالات ۱۵۱
۱۵-۱۱-۳) درگاه‌ها و کلاس‌های اتصال‌دهنده ۱۵۲
۱۵-۱۱-۴) اتصالات ۱۵۲
۱۵-۱۲) کلاس‌های جزئی مشخصات عمومی را بیان می‌کنند ۱۵۳
۱۵-۱۲-۱) استفاده مجدد از کلاس‌های جزئی ۱۵۴
۱۵-۱۳) کتابخانه قطعات الکتریکی ۱۵۵
۱۵-۱۳-۱) مقاومت ۱۵۵
۱۵-۱۳-۲) خازن ۱۵۶
۱۵-۱۳-۳) القاگر (سلف) ۱۵۶
۱۵-۱۳-۴) منبع ولتاژ ۱۵۶
۱۵-۱۳-۵) زمین ۱۵۷
۱۵-۱۴) مدل مدار ساده ۱۵۷
۱۵-۱۵) آرایه‌ها ۱۵۹
۱۵-۱۶) ساختار الگوریتمی ۱۶۱
۱۵-۱۶-۱) الگوریتم‌ها ۱۶۱
۱۵-۱۶-۲) دستورات ۱۶۲
۱۵-۱۶-۳) توابع ۱۶۳
۱۵-۱۶-۴) توابع خارجی ۱۶۴
۱۵-۱۶-۵) نگاه به الگوریتم‌ها به‌عنوان تابع ۱۶۵
۱۵-۱۷) مدل کردن ترکیبی ۱۶۶
۱۵-۱۸) بسته‌ها ۱۶۹
۱۵-۱۹) پیاده‌سازی و اجرای MODELICA ۱۷۱
۱۵-۱۹-۱) ترجمه دستی مدل مدار ساده ۱۷۳
۱۵-۱۹-۲) تبدیل به فضای حالت ۱۷۵
۱۵-۱۹-۳) روش حل ۱۷۶