

آموزش مقدماتی
مدلسازی سیستمهای مهندسی
با استفاده از زبان
Modelica

هیئت مؤلفین و مترجمین:

عبدالحمید انصاری نسب مینابی

عباس حریفی

فرهاد محمودی

آیدین پناهی

مهرزاد انصاری پور

میلاد شفیعی

سیده صدیقه موسوی

سرنامه	: آموزش مقدماتی مدلسازی سیستم‌های مهندسی با استفاده از زبان Modelica / هیئت مترجمین و مولفین
مشخصات نشر	عبدالحمید انصاری نسب‌مینیایی ... [و دیگران].
مشخصات ظاهری	: تهران: دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹۴ -
شابک	: ۱۹۴ ص.: مصور: ۲۴×۱۷ س.م.
وضعیت فهرست نویسی	: ۷-۲۶-۷۲۷۹-۶۰۰-۹۷۸-۱۰۰۰۰۰ ریال
یادداشت	: فیا
یادداشت	: هیئت مولفین و مترجمین عبدالحمید انصاری نسب‌مینیایی، عباس حریفی، فرهاد محمودی، آیدین پناهی، مهرزاد انصاری پور، میلاد شفیعی، سیده صدیقه موسوی.
موضوع	: کتابنامه
موضوع	: شی گرابی (کامپیوتر)
موضوع	: نرم افزار مدلکا
موضوع	: کامپیوترها- شبیه سازی
موضوع	: مهندسی- برنامه های کامپیوتری
موضوع	: مدل و مدلسازی- نرم افزار
شناسه افزوده	: انصاری نسب مینیایی، عبدالحمید، ۱۳۵۹ -
شناسه افزوده	: دانشگاه هرمزگان
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ۹۷۸ Q۷۲۷
رده بندی دیویی	: ۰۰۵/۱۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۱۸۶۶۲

نام کتاب: آموزش مقدماتی مدلسازی سیستم‌های مهندسی با استفاده از زبان Modelica

ناشر: دانشگاه هرمزگان

مولفین: عبدالحمید انصاری نسب‌مینیایی، عباس حریفی، فرهاد محمودی، آیدین پناهی، مهرزاد انصاری پور، میلاد شفیعی، سیده صدیقه موسوی

طراح جلد: قاطمه دبودار

چاپ و صحافی: افرنک

نویت چاپ: اول / ۱۳۹۴

تیراژ: ۱۵۰۰ نسخه

قیمت به همراه CD: ۱۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-7279-26-7

شابک: ۷-۲۶-۷۲۷۹-۶۰۰-۹۷۸

تهران- خیابان انقلاب- رویروی درب اصلی دانشگاه تهران - مجتمع تجاری اداری فروزنده - طبقه همکف
فروشگاه دانشگاه هرمزگان

تلفن: ۶۶۹۰۷۷۱۴ (۰۲۱) - ۶۶۹۵۰۵۵۳ (۰۲۱)

پیشگفتار

تکنولوژی در همه زمینه‌ها با سرعت زیادی در حال پیشرفت است. هر روز شاهد ساخت ابزارهای قدرتمندتر، روش‌های بهتر و امکانات بیشتر هستیم. ابزارهایی که خودشان راه را برای کشف روش‌ها و ابزارهای بهتر هموار می‌کنند. ما در عصر خلق فناوری به کمک فناوری، زندگی می‌کنیم.

فلسفه طراحی و محاسبات در دهه‌های اخیر دستخوش تحول زیادی شده است و امروزه برای طراحی یک سیستم و یافتن بهترین طرح لازم نیست نمونه‌های آزمایشگاهی زیادی ساخته شود، همین امر باعث افزایش سرعت طراحی، افزایش کیفیت محصولات و کاهش فوق‌العاده هزینه‌ها گردیده است. این تحول مدیون امکانات نرم‌افزاری ایجاد شده در شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف است. در دنیای فناوریانه امروز برای داشتن کیفیت بالا و قیمت پایین، سرعت و دقت بالا در طراحی و ساخت دستگاه‌های جدید یا توسعه و بهینه‌سازی سامانه‌های موجود و ایجاد قابلیت رقابت با بازارهای جهانی، ناگزیر باید از قدرتی که نرم‌افزار و سخت‌افزارهای امروزی در اختیار ما قرار داده‌اند، استفاده کرد.

نرم‌افزارهای زیادی برای شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف مهندسی خلق شده‌اند. نرم‌افزارهایی که مدارات الکترونیک را شبیه‌سازی می‌کنند، محاسبات مربوط به حرکت سیال را انجام می‌دهند، بارگذاری‌های مختلف را در اجزاء ماشین‌ها محاسبه می‌نمایند یا سامانه‌های انرژی را بهینه می‌نمایند. فهرست این نرم‌افزارها بسیار طولانی است و هر یک قدرت خود را در جنبه‌ای از مهندسی به نمایش می‌گذارند. اساس تمام این نرم‌افزارها، حل معادلات مهندسی سیستم‌های مختلف است. این معادلات رفتار قطعات و مواد دنیای واقعی را شبیه‌سازی می‌نمایند. بدیهی است که با شناخت بهتر دنیای اطرافمان، هر روز معادلات بهتری کشف می‌گردد که بهتر از معادلات گذشته می‌توانند رفتارها را مدل‌سازی نمایند و به تبع آنها نرم‌افزارهای بهتری خلق می‌شوند که نتایج واقعی‌تری ارائه می‌نمایند. مهندسان، معادلات حاکم بر دستگاه‌های مربوط به خودشان را به خوبی می‌شناسند، اما برای اغلب آنها پیاده‌سازی و حل این معادلات در کامپیوتر حتی برای دستگاه‌های کوچک مهندسی کاری زمان‌بر، پرخطا و طاقت‌فرسایی است. اغلب مهندسان حتی آنهایی که با زبانهای برنامه‌نویسی و سخت‌افزار آشنایی کافی دارند، ترجیح می‌دهند بر سیستم‌های مربوط به خودشان متمرکز شوند و بدون درگیر شدن با جزئیات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری به شبیه‌سازی آنها بپردازند. وجود نرم‌افزاری که فکر ما را از جزئیات برنامه‌نویسی و حل معادلات رها کند و همچنین کتابخانه بزرگی از مدل قطعات آماده داشته باشد، امکان استفاده از قطعات سیستم‌های مختلف را در کنار یکدیگر به راحتی فراهم کند و خلق کردن تجهیزات جدید در آن به سادگی امکان‌پذیر باشد، آرزوی بزرگی است. برآورده شدن این آرزو امکان تمرکز مهندسان بر طراحی بهینه را فراهم خواهد نمود. زبان مدل‌سازی Modelica این آرزو را برآورده می‌سازد.

زبان Modelica برای مدل سازی سیستم های مهندسی خلق شده است. با امکانات مدل سازی شیء گرای فراهم شده، مدل سازی هر سیستمی که بتوان رفتار آن را به صورت معادلات ریاضی نوشت با این زبان ممکن است. در این زبان امکان تمرکز بر مدل سازی سیستم واقعی بدون درگیر شدن با جزئیات نرم افزاری و سخت افزاری مهیا شده است. این زبان با ارائه مفهوم مدل که در واقع می تواند هر بخش کوچکی از سیستم شما باشد امکان خلق، شبیه سازی و نگهداری سامانه های بزرگ را به سادگی برای شما فراهم نموده است. این زبان فعالیت های لازم برای تولید کل معادلات سیستم، استخراج پارامترها، ساده سازی، اختصاص حافظه و حل آن را برای شما انجام خواهد داد و پس از انجام محاسبات می توانید نتایج حاصل را به صورت دینامیک مشاهده نمایید.

با استفاده از کتابخانه گسترده ای که این زبان در سیستم های مختلف فراهم نموده است، می توانید حتی بدون نوشتن یک خط برنامه، سیستم های زیادی را شبیه سازی نمایید. کتابخانه آماده این زبان در حال حاضر شامل مدل تعداد زیادی از قطعات و تجهیزات است. با استفاده از این کتابخانه، شبیه سازی از این هم ساده تر خواهد بود. کتابخانه شامل اجزاء ریاضی، منطقی، الکتریکی، الکترونیکی، مغناطیسی، مکانیکی، ترمودینامیکی، سیالاتی، حرارتی، نئوماتیک و... است. همچنین در این کتابخانه بیش از ۴۰۰ پارامتر موجود در دستگاه SI با واحد آنها در نظر گرفته شده که ایجاد سیستم های مختلف را بسیار آسان نموده است. با توجه به این که مفهوم زمان در این زبان پیاده سازی شده است، مدل ها می توانند مانند تجهیزات واقعی رفتار دینامیک داشته باشند. یکی دیگر از جنبه های این زبان، امکان استفاده سیستم های مختلف به صورت توأم در مدل سازی است. یک سیستم واقعی مثلاً یک اتومبیل را در نظر بگیرید، این سیستم دارای بخش ها و قطعات مختلفی از جمله تجهیزات مکانیکی و تولید قدرت، الکتریکی، سامانه های ناوبری و کنترلی و سامانه های هیدرولیک و ارتعاشاتی، آئرو دینامیک بدنه و رفتار راننده است که همگی در کنار هم فعالیت می کنند و برای شبیه سازی یک اتومبیل کامل لازم است که رفتار همه بخش ها را در کنار هم محاسبه نماییم. در این زبان امکان استفاده از تجهیزات مربوط به حوزه های مختلف در کنار یکدیگر وجود دارد، یعنی شما می توانید همزمان تمام این اجزاء از سامانه های مختلف را در مدل سازی استفاده نمایید.

زبان Modelica امکان توسعه آسان مدل ها، نگهداری و گسترش مدل های مختلف را تضمین می کند. فرض کنید شما یک سیستم مهندسی را در این زبان پیاده سازی نمودید و مدت ها بعد خواستید که بخشی از مدل خود را تغییر بدهید و رفتار کل سیستم را با توجه به طراحی جدید بررسی نمایید، این کار به سادگی و با انجام تغییرات اندک امکان پذیر است.

شما با داشتن این زبان، یک آزمایشگاه مجازی در کامپیوتر خود دارید.

هدف این کتاب

اولین هدف این کتاب آموزش قدم به قدم مدل سازی سیستم های مهندسی با استفاده از زبان مدل سازی Modelica است. هنگامی که این کتاب را مطالعه می کنید، به راحتی با این زبان و امکاناتش آشنا خواهید شد و مدل سازی ساختار یافته سامانه های مختلف را خواهید آموخت.

آموزش این زبان در بخش اول کتاب با استفاده عملی از محیط مدل سازی SystemModeler آغاز می گردد. این نرم افزار با توجه به دارا بودن یک محیط گرافیکی بسیار آسان و کاربر پسند انتخاب شده است. این محیط در حال پیشرفت، فضای بسیار مناسب، ساده و قدرتمندی جهت آموزش مدل سازی فراهم می نماید.

بخش دوم شما را با محیط OpenModelica آشنا می نماید. این محیط Open Source بوده و تلاش های زیادی برای گسترش آن صورت گرفته است. این محیط با داشتن فضای ساده جهت مدل سازی به زبان Modelica و داشتن مستندات خوب برای یادگیری این زبان بسیار مناسب است. همچنین با توجه به رایگان بودن ابزارهای این زبان، بستر مناسبی برای مقالات علمی است. گستردگی و قدرت این محیط ها، در عین سادگی شما را شگفت زده خواهد نمود. اگر توانایی برنامه نویسی داشته باشید، خودتان نیز می توانید بخشی از این پیشرفت شوید و در توسعه محیط های این زبان سهیم گردید.

بخش سوم کتاب نیز به زبان مدل سازی Modelica که یک زبان بسیار قوی در زمینه شبیه سازی دینامیک سیستم های مختلف است اختصاص داده شده است.

مخاطب این کتاب کیست؟

مخاطب این کتاب عمدتاً مهندسان، فارغ التحصیلان و دانشجویان رشته های فنی هستند، در عین حال این کتاب برای محققان و پژوهشگران رشته های مختلف که به شبیه سازی دینامیک سیستم های واقعی علاقه دارند، می تواند راهگشا باشد.

این کتاب برای کسانی مناسب است که قصد داشته باشند سیستم های مختلف را به صورت نرم افزاری مدل سازی نمایند اما نمی خواهند درگیر جزئیات نرم افزاری زبانهای برنامه نویسی گردند. این سیستم می تواند به طور همزمان دارای قطعات ریاضی، کنترلی، مکانیکی، الکتریکی، الکترونیکی، سیالاتی، انتقال حرارتی، شیمیایی، بیوشیمیایی یا ... باشد. شما می توانید (به شرط آنکه معادلات حاکم بر سیستم خود را بدانید) قطعات دلخواه خودتان را ایجاد کنید یا می توانید از کتابخانه بزرگ این زبان استفاده نموده و حتی بدون نوشتن یک خط معادله سیستم های زیادی را مدل سازی نمایید.

چرا این کتاب را باید بخوانید؟

خواه یک مهندس طراح در یک شرکت بزرگ باشید، خواه یک دانشجو یا دانش آموز بارها پیش آمده است که آرزو کنید، ای کاش یک آزمایشگاه برای ارزیابی طراحی‌ها و ایده‌های خودم در اختیار داشتم، یا بهتر از آن، ای کاش می‌شد یک سیستم واقعی را بدون آزمایش تجربی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، کاش یک آزمایشگاه مجازی در کامپیوتر خود داشتید که می‌شد از آن برای شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف استفاده نمود، ای کاش می‌شد محاسبات یک سیستم را آسان‌تر انجام داد، ای کاش می‌شد بدون دردسرهای پیچیدگی‌های زبانهای برنامه‌نویسی، از کامپیوتر برای انجام محاسبات یک سیستم استفاده کرد. ای کاش می‌شد سیستم‌هایی را که به‌زحمت برنامه‌نویسی نموده‌اید به راحتی توسعه می‌دادید یا از اجزائی که خلق نموده‌اید در محاسبات دیگر استفاده می‌نمودید و لازم نبود همه چیز 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 قابل‌تصور 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 کمک آموزشی 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.

با این حال 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 فضایپایماها 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. در هر حال 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 به دقت معادلات مهندسی به کار رفته 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 به راحتی 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 از جمله این زبان‌هاست که در سال ۱۹۹۶ خلق گردید و از همان ابتدا امکان مدلسازی سیستم‌هایی با فیزیک مختلف را به صورت 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 به راحتی 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 از نظر محتوی علمی به روز 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 نرم افزار SYSTEMMODELER..... ۱

فصل ۱ محیط شبیه سازی..... ۱

۱-۱) ساختار نرم افزار SYSTEMMODELER..... ۱

۲-۱) نصب نرم افزار..... ۱

۳-۱) فعال سازی نرم افزار..... ۳

۴-۱) تنظیم کامپایلر..... ۴

۵-۱) اتصال به MATHEMATICA..... ۵

۶-۱) ساختار نرم افزار SYSTEMMODELER..... ۶

فصل ۲ اولین مدلسازی..... ۹

۱-۲) مدل HELLO WORLD..... ۹

۲-۲) برای مدل یک آیگون بسازید..... ۱۴

۳-۲) معادلات دیفرانسیل..... ۱۵

فصل ۳ سیستم های فیزیکی مختلف به صورت توأم..... ۱۹

۱-۳) موتور DC..... ۱۹

۲-۳) محور صلب و محور انعطاف پذیر..... ۲۷

۳-۳) سیستم کنترل..... ۳۰

۴-۳) تحلیل میزان حساسیت..... ۳۴

فصل ۴ مدار الکتریکی ساده بر پایه قطعات..... ۳۹

۱-۴) مدلسازی سببی و غیر سببی..... ۳۹

۲-۴) مدلسازی جریان سیگنال..... ۴۰

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

۴-۴) مدار بر اساس قطعات (مدلسازی غیر سببی)..... ۴۴

فصل ۵ ایجاد قطعات توسط کاربر - آونگ مرکب ۴۷

..... ۴۷ (۱-۵) آونگ

..... ۵۰ (۲-۵) مدل آونگ مرکب

فصل ۶ توابع خارجي و سيگنال CHIRP ۵۳

..... ۵۳ (۱-۶) تابع CHIRP

..... ۵۳ (۲-۶) مدل سازی

فصل ۷ شبیه سازی مخازن ذخيره ۵۹

..... ۵۹ (۷-۱) مدل ساده مخزن

..... ۶۱ (۲-۷) مدل مخزن بر اساس قطعات

..... ۶۴ (۱-۲-۷) درگاه ها

..... ۶۵ (۲-۲-۷) ایجاد تابع محدودیت برای شیر کنترل

..... ۶۶ (۳-۲-۷) اجزای مخزن

..... ۶۸ (۴-۲-۷) کنترل کننده

..... ۶۹ (۵-۲-۷) سیستم مخزن کوچک

..... ۷۰ (۳-۷) مخزن با کنترل کننده PID پیوسته

..... ۷۳ (۴-۷) سیستم با سه مخزن

فصل ۸ آونگ معکوس ۷۵

..... ۷۵ (۱-۸) آونگ معکوس

فصل ۹ توصیه هایی در مدل سازی ۷۷

..... ۷۷ (۱-۹) مقادیر اولیه

..... ۷۷ (۱-۱-۹) خاصیت START

..... ۷۸ (۲-۱-۹) مقادیر حدس

..... ۷۸ (۳-۱-۹) بخش معادلات و الگوریتم های مقداردهی اولیه

..... ۷۹ (۲-۹) اتفاقات

..... ۸۰ (۳-۹) کتابخانه MULTIBODY

۸۰	 مقدار اولیه	۹-۳-۱
۸۱	 زاویه و موقعیت شیء	۹-۳-۲
۸۱	 پویانمایی	۹-۳-۳
۸۲	 استفاده از شکل های CAD	۹-۳-۴
۸۳	 پیشنهاد های عمومی	۹-۴

بخش دوم - محیط OPENMODELICA ۸۵

۸۵	 فصل ۱۰ نرم افزار OPENMODELICA	
۸۶	 OMNOTEBOOK و DRMODELICA	۱۰-۱-۱
۸۶	 ویرایشگر متن با برنامه نویسی LITERATE	۱۰-۲-۱
۸۶	 ویرایشگر متن OMNOTEBOOK و MATHEMATICA	۱۰-۲-۱
۸۸	 سیستم آموزشی DRMODELICA	۱۰-۳-۱
۹۲	 سلول ها	۱۰-۳-۱
۹۳	 مکان نماها	۱۰-۳-۲
۹۴	 ایجاد مدل مخزن	۱۰-۴
۹۷	 ایجاد مدل پیشرفته مخزن	۱۰-۵-۱
۹۸	 شیر کنترل	۱۰-۵-۱

فصل ۱۱ آشنایی با OMSHELL ۱۰۱

۱۰۱	 بخش INTERACTIVE SESSION همراه با مثال	۱۱-۱
۱۰۱	 شروع کار با INTERACTIVE SESSION	۱۱-۱-۱
۱۰۲	 امتحان کردن تابع BUBBLESORT	۱۱-۱-۲
۱۰۳	 کتابخانه MODELICA و مدل DCMOTOR	۱۱-۱-۳
۱۰۴	 تابع VAL	۱۱-۱-۴
۱۰۴	 مدل های SWITCH و BOUNCINGBALL	۱۱-۱-۵
۱۰۶	 پاک کردن تمامی مدل ها	۱۱-۱-۶
۱۰۶	 مدل VANDERPOL و رسم پارامتری	۱۱-۱-۷
۱۰۷	 برنامه نویسی با دستور IF و حلقه های FOR-LOOP و WHILE-LOOP	۱۱-۱-۸

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

فصل ۱۲ نمودارهای ۲ بعدی ۱۱۷

۱۱۷	 رسم نمودار ساده دوبعدی (۱-۱۲)
۱۱۸	 توابع رسم و گزینه‌های آنها (۲-۱۲)

فصل ۱۳ ویرایشگر گرافیکی OMEDIT ۱۱۹

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

۱۲۷	 محاوره شبیه‌سازی (۲-۵-۱۳)
۱۲۷	 محاوره خواص و پارامترهای مدل (۳-۵-۱۳)
۱۲۸	 نوار ابزار (۶-۱۳)

فصل ۱۴ کتابخانه‌های آماده قطعات ۱۲۹

۱۲۹	 کتابخانه‌های همراه با OPENMODELICA (۱-۱۴)
۱۳۰	 کتابخانه‌های تجاری زبان (۲-۱۴)

بخش سوم - آموزش زبان MODELICA ۱۳۱

فصل ۱۵ مروری کوتاه بر MODELICA ۱۳۱

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

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