

طراحی و شبیه سازی پروژه های مهندسی عمران با

COMSOL

مهندس یار

مؤلفان

مهندس بهروز باقری

مهندس سجاد باقری



نشر دانشگاهی کیان
Kian Publication

باقری، بهروز، ۱۳۶۳.
 طراحی و شبیه‌سازی پروژه‌های مهندسی عمران با COMSOL / مولف بهروز باقری، سجاد باقری.
 تهران: انتشارات دانشگاهی کیان، ۱۳۹۵.
 ۷۷۵ص: مصور.
 ۹۷۸-۶۰۰-۳۰۷-۱۳۶-۰
 فیپا.
 مهندسی عمران - داده‌پردازی.
 نرم‌افزار کامسول مالتی‌فیزیکس.
 باقری، سجاد، ۱۳۶۶.
 ۱۳۹۵ ط ۲۴ پ / ۳۲۵ TA.
 ۶۲۴/۰۲۸۵
 ۴۲۱۷۹۲۳

سرشناسه
 عنوان و نام پدیدآور
 مشخصات نشر
 مشخصات ظاهری
 شابک
 وضعیت فهرست نویسی
 موضوع
 موضوع
 شناسه افزوده
 رده بندی کنگره
 رده بندی بیویی
 شماره کتابخانه ملی



نشر دانشگاهی کیان
 Kian Publication

انتشارات دانشگاهی کیان

نام کتاب : طراحی و شبیه‌سازی پروژه‌های مهندسی عمران با COMSOL
 مولفان : بهروز باقری - سجاد باقری
 ناظر فنی : پیمان عمرانی
 طراح جلد : شیلان هوشیاری
 ویراستار ادبی : لیلا رفیعی
 صفحه‌آرا : مرضیه امانت
 چاپ اول : ۱۳۹۵
 تیراژ : ۱۰۰۰
 چاپ : ستاره سبز
 صحافی : نمونه
 قیمت : ۴۷۵۰۰ تومان (به همراه DVD هدیه)
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۳۰۷-۱۳۶-۰
 ISBN : 978-600-307-136-0



خرید اینترنتی آسان از:

www.kianpub.com

بر اساس قانون حقوق مولفان و مصنفان، کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب به طور انحصاری به نشر دانشگاهی کیان
 تعلق دارد و هرگونه استفاده و برداشت از محتوای این اثر به هر شکلی اعم از چاپ، کپی، اسکن، لوح فشرده، نشر الکترونیک
 و اینترنتی یا به صورت هرگونه فایل رایانه‌ای، بدون مجوز رسمی ناشر ممنوع و حرام شرعی است و پیگرد قانونی دارد.



kianpublication

برای دریافت اخبار و اطلاعات
 مفید و شرکت در قرعه‌کشی، ما
 را در این شبکه‌ها دنبال کنید.

بشر قرن ۲۱ بی‌وقفه و به‌سرعت در تکاپوی توسعه‌ی همه‌جانبه‌ی مرزهای دانش در تمامی حوزه‌هاست و در این مسیر از تلاش باز نمی‌ایستد؛ چرا که اثرگذارترین ابزار برتری‌جویی در فضای رقابتی امروز را دستیابی به فناوری‌های پیشرفته، علوم نوین و گسترش صنایع پیشرفته، کارآمد و منحصربه‌فرد یافته است. براساس چنین نگرشی است که رشد سریع علوم و فنون کاربردی و گسترده‌ی عظیمی از زمینه‌های تحقیقاتی در دستورکار بازی‌گردانان نظام جهانی قرار گرفته است.

در شرایط ویژه پیچیده‌ای که کشور ما با آن روبه‌روست، گام برداشتن در مسیر پیشرفت و رشد و توسعه‌ی اخلاقی و نیز کسب جایگاه درخور و تاثیرگذار در عرصه‌ی بین‌المللی منوط به اصلاح دید کلان نسبت به توسعه‌ی علمی و پژوهشی با هدف ارتقای شاخص‌های پیشرفت و توسعه‌ی کشور است و این امر با حمایت ویژه و مستمر از بخش‌های دانشگاهی و پژوهشی امکان‌پذیر نخواهد بود.

انتشارات دانشگاهی کیان، به‌عنوان یکی از بسترهای مستعد تحقق بومی‌سازی فناوری‌های پیشرفته (High Technology) قصد دارد با استفاده از همت بلند متخصصان صنعتی و دانشگاهی کشور و با استفاده از تجارب خود در زمینه چاپ و نشر بیش از سیصد عنوان کتاب‌های فنی و مهندسی، بخشی هرچند کوچک از بین‌نیافته‌ی خطیر را به انجام برساند.

مجموعه کتاب‌های مهندسیار، با هدف دسترسی دانش‌پژو، اساتید، پژوهشگران و علاقمندان به دانش فنی و تخصص روز دنیا در حوزه‌ی فنی و مهندسی با نگاه ویژه‌ای تدوین شده است. در این آثار سعی شده است تا تجارب و دستاوردهای علمی و پژوهشی مولفان به‌نام و فرهیخته‌ی کشور، به شیوه‌ای آموزشی و استاندارد و با بالاترین کیفیت فنی و محتوایی، به مخاطبان علاقمند انتقال یابد. این مجموعه، گسترده‌ی وسیعی از علم فنی و مهندسی را دربر می‌گیرد و تلاش بر آن است تا در آینده‌ی نزدیک در سایه‌ی الطاف الهی و با تکیه بر دانش و تخصص بومی، عناوین کاملی از کتاب‌های کاربردی و ارزشمند در این مجموعه پوشش داده شود.

انتشارات دانشگاهی کیان در این مسیر دست‌یکایک اساتید و پژوهشگران حوزه‌ی فنی و مهندسی را به گرمی می‌فشارد و از پیشنهادهای ارزنده‌ی تالیف و ترجمه در این چارچوب استقبال می‌کند و از مخاطبان این مجموعه خواهشمند است نقدها و نظرات سازنده‌ی خود را از طریق پل‌های ارتباطی موجود در جهت ارتقای محتوایی و کیفی آثار مطرح نمایند.

چرا کامسول؟

استفاده از نرم‌افزار قدرتمند COMSOL، به شکل چشمگیری میان دانشجویان، علاقه‌مندان و متخصصان شبیه‌سازی رو به افزایش است. این شبیه‌ساز که قادر به تحلیل مسایل متنوع حوزه‌های مختلفی از فنی و مهندسی گرفته تا علوم پایه و محض است، علاوه بر امکانات رایج سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بر پایه المان محدود، مانند کاربری آسان، امکانات درون‌برنامه‌ای و گرافیک قدرتمند، پشتیبانی از فایل‌های مدل متنوع ورودی و نیز امکان مدل‌سازی و تحلیل در یک دو و سه بعد در شرایط پایدار و حتی تحلیل دینامیک (وابسته به زمان)، مزایای بسیار ارزشمندی و ویژه‌ای نیز در دسترس کاربر قرار می‌دهد:

«کامسول یک نرم‌افزار تخصصی میان‌رشته‌ای است. بسیاری از مسایل و مدل‌های مورد مطالعه تنها به یک حوزه محدود و مربوط نمی‌شوند و تجزیه و تحلیل آنها نیازمند بررسی ابعاد مختلف آنهاست. به طور مثال در شبیه‌سازی یک سیستم مکانیکی که از الکتریسیته به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند، هر دو حوزه مکانیک و برق در حل مساله و درک شرایط آن دخیل هستند. باید به نحو مطلوب در تجزیه و تحلیل منظور شوند. کامسول از ماژول‌های بسیار متنوعی شامل حوزه‌های برق، فیزیک، شیمی، مکانیک، عمران، پزشکی و زیرمجموعه‌های آنها برای تحلیل انواع مسایل بهره می‌گیرد که ابتدا مساله بر مبنای این ماژول‌ها تعریف و مدل‌سازی شد و سپس با برقراری ارتباط صحیح میان این ماژول‌ها و اعمال شرایط مرزی و اولیه مناسب، تحلیل جامع و دقیقی از مساله انجام می‌شود.

«کامسول، چندفیزیکی است. همان‌طور که گفته شد، این نرم‌افزار قادر به تحلیل مساله براساس تعریف ماژول‌های مختلف است. این ویژگی سبب می‌شود که در تحلیل‌های مختلف را با استفاده از رابط‌های فیزیکی در یک مدل کامسول تعریف کرد؛ به طور مثال می‌توان برای یک مساله، به طور همزمان شرایط انتقال حرارت، الکتریسیته و سیالات را با استفاده از رابط‌های فیزیکی مربوطه، تعریف کرد. با استفاده از این خاصیت چندفیزیکی (Multiphysics) این نرم‌افزار قادر به درک دقیق مساله و تولید تحلیل مناسب برای آن خواهد بود. بسیاری از نرم‌افزارهای موجود از این امکان ارزشمند بی‌بهره‌اند و درکی از مساله ندارند، اما کامسول مدل را می‌فهمد.

«با نرم‌افزار قدرتمند MATLAB ارتباط مستقیم دارد. در تمامی نرم‌افزارهای شبیه‌ساز قدرتمند به نحوی قابلیت کدنویسی، پیش‌بینی شده است؛ زیرا امکان پوشش تمامی شرایط و قواعد خاص حاکم بر مسایل، وجود ندارد. کدنویسی در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز، اغلب کار سختی است، اما نه در کامسول! مطلب، به عنوان یکی از قوی‌ترین

نرم افزارهای ریاضی، امروزه در دسترس کاربران بیش از ۱۳ رشته تحصیلی و زمینه پژوهشی، قرار دارد. بسیار ارزشمند است که نرم افزار نام آشنای متلب، مدل های کامسول را پشتیبانی می کند و قابلیت استفاده از موتور محاسباتی خود را کاملاً در اختیار کامسول قرار می دهد.

نحوه مطالعه کتاب

این کتاب به دو بخش اساسی تقسیم شده که در بخش اول، نرم افزار کامسول و قابلیت های آن به طور کامل معرفی شده است. در این بخش در فصل ابتدایی، مبانی نرم افزار شامل ماژول های مهم و کاربردی به همراه رابط های فیزیکی مورد استفاده و نیز معادلات پایه ای موجود در آنها ارائه شده است. همان طور که گفته شد، قابلیت ویژه و کاربردی این نرم افزار، چندفیزیکی بودن آن است و بسیاری از مسایل و مدل ها با بیش از یک فیزیک قابل بیان و تحلیل اند پس اگر ماژول هایی را می بینید که با رشته یا تخصص شما سازگار نیستند، تعجب نکنید. آنها را حتماً به بخش سطحی مطالعه کنید؛ زیرا ممکن است لازم باشد در مدل های خود از آنها به نحوی استفاده نمایید.

در فصل دوم از بخش اول، امکانات و ابزارهای مختلف نرم افزار برای تولید و تعریف مدل با استفاده از رابط های فیزیکی موردنظر و نیز نحوه اختصاص ماده مدل و اعمال شرایط مرزی (و شاید اولیه) تا مرحله اجرای محاسبات و گرفتن نتایج و خروجی های گرافیکی مطلوب، به طور کامل مطرح و توصیف شده اند. این فصل را با دقت بخوانید تا در تولید و تعریف مدل خود و نیز تحلیل آن با مشکل روبه رو نشوید. در فصل سوم از این بخش نیز نحوه ارتباط این نرم افزار با MATLAB به طور دقیق و کامل مطرح شده است. توجه داشته باشید که این سه فصل را باید بر اساس ترتیب ارائه آنها مطالعه کنید.

بخش دوم این کتاب، شامل تمرین ها و پروژه های کاربردی متنوع است که متناسب با رشته تحصیلی یا پژوهشی شما انتخاب شده است. در ابتدای هر یک از این تمرین ها، صورت مساله مطرح شده و پس از آن نحوه پیاده سازی مساله در کامسول و تجزیه و تحلیل آن به صورت مرحله به مرحله و کامل ارائه گردیده است. از آنجایی که هر یک از تمرین ها به صورت مستقل مطرح شده و مورد تحلیل قرار گرفته، نیازی به مطالعه دسته ای این بخش نخواهید داشت و می توانید تنها به سراغ تمرین های مورد نظر خود که با مورد مطالعاتی شما سازگار است، بروید؛ اما به خاطر داشته باشید که باید پیش از مراجعه به این بخش و استفاده از تمرین ها، سه فصل بخش اول را خوب مطالعه کرده باشید. در ضمن، تمامی فایل های مورد نیاز این بخش، در DVD همراه کتاب موجود است.

انتشارات دانشگاهی کیان علاقه مند است بازخوردهای ارزنده شما مخاطب گرامی را در مورد این اثر و سایر آثار خود دریافت کند. از آنجایی که هیچ کتابی خالی از اشکال نیست، خواهشمند است نظرها، پیشنهادات و نیز نقدهای ارزشمند خود را از طریق آدرس های ارتباطی موجود به اطلاع نشر برسانید تا در نسخه های آتی مورد بازبینی و اصلاح قرار گیرند.

بخش اول: آشنایی با نرم افزار COMSOL

فصل اول: آشنایی با نرم افزار COMSOL

۱۵.....	۱-۱. مقدمه
۱۸.....	۲-۱. ماژول ها، نرم افزار

فصل دوم: آشنایی با محیط نرم افزار COMSOL

۶۸.....	۱-۲. ابزارها و زیر برگ ها، مقداردهی در نرم افزار
۷۳.....	۲-۲. شاخه ها و زیر شاخه ها، Model Builder
۷۶.....	۳-۲. معرفی ابزارهای مورد نیاز برای مدل سازی
۸۹.....	۴-۲. معرفی کتابخانه مواد
۱۱۳.....	۵-۲. عملیات مش بندی
۱۲۸.....	۶-۲. مرحله تحلیل و بررسی نتایج
۱۳۷.....	۷-۲. خطاها و هشدارها

فصل سوم: اتصال کامسول به MATLAB تر سط Live Link

۱۴۲.....	۱-۳. اقدامات اولیه برای برقراری اتصال 'Live Link' for MATLAB
۱۴۳.....	۲-۳. به کارگیری از MATLAB در COMSOL
۱۴۴.....	۳-۳. فراخوانی یک تابع MATLAB به درون یک مدل COMSOL
۱۵۶.....	۴-۳. ایجاد مدل با کمک متلب
۱۸۳.....	۵-۳. کار با مدل کامسول در متلب

بخش دوم: تمرین های کاربردی

۱۸۹.....	تمرین ۱: چوب بست صفحه ای با جرم گسسته و گشتاور جرمی خنثی
۱۹۹.....	تمرین ۲: آنالیز لغزش در ورق
۲۰۷.....	تمرین ۳: آنالیز لغزش ریسمانی
۲۱۹.....	تمرین ۴: آنالیز الاستیک - پلاستیک ورق حاوی سوراخ

فهرست مطالب

تمرین ۵: آنالیز استاتیکی در یک Bracket	۲۳۳
تمرین ۶: آنالیز کرنش اولیه در Bracket	۲۴۵
تمرین ۷: آنالیز کمانش خطی در یک دکل	۲۵۱
تمرین ۸: آنالیز تیر یک سرگیر	۲۶۱
تمرین ۹: آنالیز تماس	۲۸۹
تمرین ۱۰: آنالیز رابطهای دوبعدی و سهبعدی	۳۰۳
تمرین ۱۱: آنالیز سطح شیبدار	۳۱۹
تمرین ۱۲: آنالیز شکست شدید در تیر	۳۳۱
تمرین ۱۳: آنالیز سازه‌های پوسته‌ای	۳۴۷
تمرین ۱۴: آنالیز غیرمتمرکز در بازه‌ای بیضی‌شکل	۳۵۹
تمرین ۱۵: آنالیز پاندوم در شرایط مختلف	۳۷۱
تمرین ۱۶: آنالیز مکانیکی یک قاب به فضا معیوب	۴۰۳
تمرین ۱۷: آنالیز مکانیزم $Annals$ Sizing	۴۱۵
تمرین ۱۸: آنالیز تنش در یک پوسته بیضی	۴۲۷
تمرین ۱۹: رفتار دینامیکی لغزنده چرخشی تحت بارگذاری رجاعی	۴۴۵
تمرین ۲۰: آنالیز پل معلق	۴۵۹
تمرین ۲۱: آنالیز ترمودینامیکی تیر	۴۸۳
تمرین ۲۲: آنالیز حالت پایدار انتقال حرارت	۴۹۱
تمرین ۲۳: آنالیز پله‌های حرارتی در سازه ساختمان (سازه سهبعدی: مودله)	۴۹۹
تمرین ۲۴: آنالیز بازیابی حرارت زمین برای حرارت‌دهی کف اتاق	۵۱۹
تمرین ۲۵: انجام عملیات بهینه‌سازی در تیر	۵۳۹
تمرین ۲۶: آنالیز حفر تونل	۵۵۱
تمرین ۲۷: آنالیز آزمایش مکانیک خاک	۵۶۳
تمرین ۲۸: آنالیز تیر بتنی تقویت‌شده با آرماتور	۵۷۷
تمرین ۲۹: آنالیز حفاری عمیق	۶۱۳
تمرین ۳۰: آنالیز پای‌بست (Strip Footing) انعطاف‌پذیر بر روی لایه خاک	۶۳۹
تمرین ۳۱: آنالیز اعمال فشار ایزوتروپیک بر روی خاک با معیار Cam-Clay	۶۵۳

فهرست مطالب

تمرین ۳۲: آنالیز تست سه محوری خاک.....	۶۶۷
تمرین ۳۳: آنالیز جریان همرفت در محیط متخلخل.....	۶۸۱
تمرین ۳۴: آنالیز شکست در یک چاه چندشاخه‌ای.....	۶۹۱
تمرین ۳۵: آنالیز انتقال و جریان اشباع شده متغیر.....	۷۰۳
تمرین ۳۶: آ. بر فشردگی Terzaghi.....	۷۲۱
تمرین ۷: آنالیز جریان شناور بر اساس قانون داریسی.....	۷۳۱
پیوست ۱: فهرست تی از ح قطع ای نرم افزار.....	۷۴۵
پیوست ۲: جزییات میلی، مورد محیط کار نرم افزار COMSOL.....	۷۵۳
پیوست ۳: آشنایی با نقش مت، ره، تاب، ها و عملگرهای نرم افزار.....	۷۶۷