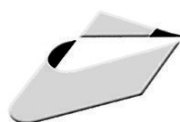


به نام خدا



مؤسسه فرهنگی هنری
دیباکران تهران

پدیده‌های انتقال و بهینه‌سازی با نرم‌افزار COMSOL

مؤلفان

مهندس علیرضا پور پروانه

مهندس مریم کریمی

هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

پدیده های انتقال و بهینه سازی با نرم افزار COMSOL

مولفان : مهندس علیرضا پورپروانه

مهندس مریم کریمی

ناشر: مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

صفحه آرای: مجتمع فنی تهران

طرح روی جلد: مجتمع فنی تهران

چاپ: صدف

نوبت چاپ: سوم

تاریخ نشر: ۱۳۹۸

تیراژ: ۵۰ جلد

قیمت با DVD همراه: ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۲۴-۳۷۷-۶

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

کد پستی: ۱۳۱۴۹۸۳۱۸۵

فروشگاههای اینترنتی:

www.mftbook.ir

www.dibagarantehran.com

نشانی تلگرام: @mftbook

نشانی اینستاگرام: Dibagaran_publishing

پست الکترونیکی: bookmarket@mftmail.com

سرشناسه: پورپروانه، علیرضا، ۱۳۶۸-

عنوان و نام پدید آور: پدیده های انتقال و بهینه سازی با نرم افزار COMSOL

مشخصات نشر: تهران- دیباگران تهران- ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۳۲۸ ص. مصور.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۲۴-۳۷۷-۶

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: این مدرک در آدرس <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.

شناسه افزوده: کریمی، مریم، ۱۳۶۷-

شناسه افزوده: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

شماره کتابشناسی ملی: ۳۷۶۹۱۲۰

فهرست مطالب

| | |
|---|---|
| ۸ | مقدمه ناشر |
| ۹ | مقدمه مؤلفان |
| فصل اول: مقدمه‌ای بر نرم‌افزار COMSOL Multiphysics | |
| ۱۱ | طریقه نصب نرم‌افزار COMSOL Multiphysics |
| ۱۴ | Chemical Species Transport |
| ۱۷ | Fluid Flow |
| ۲۰ | Heat Transfer |
| ۲۱ | Mathematics |
| ۲۸ | نوار ابزار دسترسی سریع (Quick Access Toolbar) |
| ۲۸ | نوار تحریر (Ribbon) |
| ۲۹ | پنجره تنظیمات (Setting Window) |
| ۲۹ | پنجره ساختن مدل (Model Builder Window) |
| ۲۹ | پنجره‌های نمودار (Graphics Window) |
| ۲۹ | پنجره‌های اطلاعات (Information Windows) |
| ۲۹ | کمک دینامیکی (Dynamic Help) |
| ۳۰ | اولویت‌ها (Preferences) |
| ۳۲ | پارامترها |
| ۳۲ | متغیرها |
| ۳۲ | ثوابت، متغیرها و توابع غیر قابل انتقال |
| ۳۵ | GEOMETRY |
| ۴۳ | MATERIAL |
| ۴۵ | معادلات ناویر - استوکس تراکم‌ناپذیر |
| ۴۶ | شرایط مرزی |
| ۵۴ | MESH |
| ۵۶ | Results |
| فصل دوم: بهینه‌سازی سرعت جریان در یک میکروکانال | |
| ۵۷ | مقدمه |
| ۵۸ | دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۶۰ | GLOBAL DEFINITIONS |
| ۶۱ | GEOMETRY 1 |
| ۶۴ | MATERIALS |

| | | |
|----|-------|--------------|
| ۶۵ | ..... | DEFINITIONS |
| ۶۶ | ..... | LAMINAR FLOW |
| ۶۹ | ..... | OPTIMIZATION |
| ۷۱ | ..... | MESH 1 |
| ۷۴ | ..... | STUDY 1 |
| ۷۷ | ..... | RESULTS |

فصل سوم: عایق کاری خطوط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی

| | | |
|-----|-------|----------------------------------|
| ۸۳ | ..... | مقدمه |
| ۸۴ | ..... | FLOW EQUATIONS |
| ۸۴ | ..... | HEAT TRANSFER EQUATIONS |
| ۸۸ | ..... | GEOMETRY 1 |
| ۸۹ | ..... | GLOBAL DEFINITIONS |
| ۹۰ | ..... | MATERIALS |
| ۹۲ | ..... | NON-ISOTHERMAL PIPE FLOW (NIPFL) |
| ۱۰۰ | ..... | STUDY 1 |
| ۱۰۲ | ..... | RESULTS |
| ۱۰۴ | ..... | ADD STUDY |
| ۱۰۵ | ..... | STUDY 2 |
| ۱۰۸ | ..... | RESULTS |
| ۱۱۰ | ..... | DEFINITIONS |
| ۱۱۲ | ..... | ADD STUDY |
| ۱۱۲ | ..... | STUDY 3 |
| ۱۱۳ | ..... | RESULTS |

فصل چهارم: بهینه‌سازی جریان در میکرو شیر تسلا

| | | |
|-----|-------|----------------------|
| ۱۱۷ | ..... | مقدمه |
| ۱۱۸ | ..... | دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۱۲۰ | ..... | GLOBAL DEFINITIONS |
| ۱۲۱ | ..... | GEOMETRY 1 |
| ۱۲۴ | ..... | MATERIALS |
| ۱۲۴ | ..... | LAMINAR FLOW |
| ۱۲۷ | ..... | LAMINAR FLOW 2 |
| ۱۲۹ | ..... | MESH 1 |
| ۱۳۰ | ..... | STUDY 1 |

| | |
|-----|---------------------------|
| ۱۳۱ | RESULTS |
| ۱۳۲ | DEFINITIONS |
| ۱۳۵ | Integration 1 |
| ۱۳۶ | STUDY 1 |
| ۱۳۶ | RESULTS |
| ۱۳۸ | ADD PHYSICS |
| ۱۳۸ | ADD STUDY |
| ۱۳۹ | OPTIMIZATION |
| ۱۴۱ | Control Variable Bounds 1 |
| ۱۴۱ | LAMINAR FLOW |
| ۱۴۱ | LAMINAR FLOW 2 |
| ۱۴۲ | DEFINITIONS |
| ۱۴۴ | STUDY 2 |
| ۱۴۶ | RESULTS |

فصل پنجم : بهینه‌سازی سیستم فنک کننده در یک راکتور لوله‌ای

| | |
|-----|-----------------------------------|
| ۱۵۷ | مقدمه |
| ۱۵۷ | CHEMISTRY |
| ۱۵۸ | MASS TRANSPORT |
| ۱۵۸ | ENERGY TRANSPORT – REACTOR |
| ۱۵۹ | ENERGY TRANSPORT - COOLING JACKET |
| ۱۵۹ | دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۱۶۲ | GEOMETRY 1 |
| ۱۶۴ | GLOBAL DEFINITIONS |
| ۱۶۵ | DEFINITIONS |
| ۱۶۶ | MATERIALS |
| ۱۶۷ | TRANSPORT OF DILUTED SPECIES |
| ۱۷۰ | HEAT TRANSFER IN FLUIDS |
| ۱۷۲ | HEAT TRANSFER IN FLUIDS 2 |
| ۱۷۵ | MESH 1 |
| ۱۷۶ | STUDY 1 |
| ۱۷۸ | RESULTS |
| ۱۸۵ | STUDY 1 |
| ۱۸۶ | RESULTS |

فصل ششم: بهینه‌سازی میکرو راکتور کاتالیستی

| | |
|-----|-----------------------------------|
| ۱۸۹ | مقدمه |
| ۱۸۹ |MASS TRANSPORT |
| ۱۹۰ |MOMENTUM TRANSPORT |
| ۱۹۰ | مسائل بهینه‌سازی |
| ۱۹۰ |مسائل بهینه‌سازی محدب |
| ۱۹۱ |دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۱۹۴ |GLOBAL DEFINITIONS |
| ۱۹۸ |DEFINITIONS |
| ۲۰۱ |MATERIALS |
| ۲۰۱ |LAMINAR FLOW |
| ۲۰۴ |TRANSPORT OF DILUTED SPECIES |
| ۲۰۷ |OPTIMIZATION |
| ۲۱۱ |MESH 1 |
| ۲۱۲ |STUDY 1 |
| ۲۱۴ |RESULTS |
| ۲۱۹ |TABLE |

فصل هفتم: تعیین پارامترهای معادله آرنیوس با استفاده از روش تخمین پارامتر و بهینه‌سازی

| | |
|-----|---------------------------|
| ۲۲۱ | مقدمه |
| ۲۲۲ |دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۲۲۳ |GLOBAL DEFINITIONS |
| ۲۲۴ |REACTION ENGINEERING |
| ۲۳۷ |STUDY 1 |
| ۲۴۰ |RESULTS |

فصل هشتم: انتقال حرارت، انتقال جرم و انتقال مومنتوم در یک راکتور لوله‌ای

| | |
|-----|---|
| ۲۴۹ | مقدمه |
| ۲۵۰ |بررسی جریان توسعه‌یافته - مدل‌سازی جریان تراکم‌پذیر |
| ۲۵۰ |جابه‌جایی و نفوذ در سیستم چندجزئی - انتقال از جزء غلیظ |
| ۲۵۱ |هندسه |
| ۲۵۲ |مش |
| ۲۵۲ |دستورالعمل شبیه‌سازی |
| ۲۵۵ |GLOBAL DEFINITIONS |
| ۲۵۶ |DEFINITIONS |

| | |
|-----|--|
| ۲۵۷ |GEOMETRY 1 |
| ۲۵۹ |LAMINAR FLOW |
| ۲۶۲ |TRANSPORT OF CONCENTRATED SPECIES |
| ۲۶۶ |MESH 1 |
| ۲۶۷ |Boundary Layer Properties |
| ۲۶۸ |STUDY 1 |
| ۲۶۹ |RESULTS |
| ۲۷۵ |ADD PHYSICS |
| ۲۷۶ |ADD STUDY |
| ۲۷۷ |HEAT TRANSFER IN FLUIDS |
| ۲۸۲ |TRANSPORT OF CONCENTRATED SPECIES |
| ۲۸۲ |STUDY 2 |
| ۲۸۳ |RESULTS |
| ۲۸۸ |STUDY 1 |

فصل نهم: پیش‌اندازی به نرم‌افزار 5 Comsol Multiphysics

| | |
|-----|---|
| ۲۹۳ |مقدمه |
| ۲۹۴ |دستورالعمل شبیه سازی |
| ۲۹۷ |DEFINITIONS |
| ۲۹۸ |GEOMETRY |
| ۳۰۷ |LAMINAR FLOW |
| ۳۰۹ |TRANSPORT OF DILUTED SPECIES (TDS) |
| ۳۱۰ |MESH |
| ۳۱۲ |STUDY 1 |
| ۳۱۴ |RESULTS |
| ۳۲۱ |پیوست‌ها |
| ۳۲۸ |فهرست منابع و مآخذ |

نظامی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرضه کتاب‌هایی است که تواند

خواسته‌های به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بیکران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگ این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هر چند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم. گستردگی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید. در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرسنل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر درصدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پربار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقه‌مندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "آقای مهندس علیرضا پور پروانه و سرکار خانم مهندس مریم کریمی" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

ویراستاری: پریسا اخگری

ویرایش و صفحه‌آرایی کامپیوتری: معصومه گنجی‌پور

کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش - راضیه گودرزی

طراح جلد: مریم فرجیان

ناظر چاپ: منصور عزیزی

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس **dibagaran.mft.info** (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

publishing@mftmail.com

مقدمه مؤلفان

امروزه پیشرفت تکنولوژی و تخصصی شدن علوم باعث شده تا استفاده از روش‌های حل عددی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کاربرد وسیعی داشته باشد در سال‌های اخیر با همت محققان نرم‌افزارهای شبیه‌سازی متفاوتی به بازار عرضه شد که در عرصه استفاده از کامپیوتر و زمینه‌های آن تحولات عظیمی به وجود آمده است. اما عملکرد آن‌ها نیازمند یادگیری تکنیک‌های علمی و محاسباتی و درک عمیق آن‌ها می‌باشد.

تأثیر متغیرهای فیزیکی مختلف و بالا بودن هزینه‌های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی، روند رو به رشد ایجاد فرایندهای صنعتی، افزایش امکانات محاسباتی و سرعت پردازش اطلاعات باعث شده تا استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری در جامعه صنعتی و دانشگاهی مورد توجه قرار گیرد. می‌توان گفت شبیه‌سازی‌های مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به عنوان ابزاری توانمند جهت رفع مشکلات و تنگناهای موجود در صنعت و کاهش هزینه‌های تولید نقش بسزایی را ایفا می‌کنند.

یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه شبیه‌سازی، نرم‌افزار **کامسول مولتی فیزیکس (COMSOL Multiphysics)** می‌باشد. این نرم‌افزار در سال ۱۹۸۶ توسط دانشجویان مؤسسه سلطنتی فناوری سوئد ایجاد شد. نام قبلی این نرم‌افزار FEMLAB بوده است و از سال ۲۰۰۵ به COMSOL Multiphysics تغییر نام داده است.

این نرم‌افزار یک مجموعه کامل شبیه‌سازی است که می‌تواند معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیرخطی را توسط مشتق‌های جزئی به روش اجزای محدود (FEM) در فضاها، دو و سه بعدی حل نماید. این نرم‌افزار می‌تواند در حضور چالش‌هایی نظیر میدان‌های الکترومغناطیسی، کشش، دینامیک سیالات و دینامیک گاز به خوبی راهگشا باشد. همچنین نرم‌افزار COMSOL Multiphysics فرصتی را برای حل مشکل به عنوان یک فرمول ریاضی (در فرم معادلات) و فیزیکی (انتخاب مدل فیزیکی) به کاربر می‌دهد. بدیهی است در هر مورد سیستم معادلات حل خواهد شد، تفاوت فقط در امکان استفاده از سیستم‌های فیزیکی و جسمی و واحدها می‌باشد. به اصطلاح حالت فیزیکی، می‌توان از معادلات پیش تعریف شده برای اکثر پدیده‌های انجام گرفته در علوم و فناوری استفاده کرد، مانند انواع روش‌های انتقال حرارت و برق، تئوری الاستیسیته، نفوذ مولکولی و انتقال جرم و انتشار، انتشار موج و جریان سیال.

با استفاده از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics می‌توان طراحی و شبیه‌سازی پروژه‌های مهندسی شیمی، نفت، مکانیک، برق، علوم زمین، فیزیک، نجوم و کوانتوم را انجام داد. همچنین این برنامه امکان تعامل با نرم‌افزارهای مهندسی دیگر مانند CATIA و MATLAB را دارد.

مطالب این کتاب طوری بیان شده است که دانشجویان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا می‌توانند از آن استفاده کنند. همچنین تمامی مسئله‌های موجود در این کتاب به وسیله آخرین نسخه این نرم‌افزار طراحی و آموزش داده می‌شود.

با توجه به گستردگی صفحات و محیط‌های مختلف این نرم‌افزار، در فصول موجود در این کتاب، مسئله‌های مختلفی ارائه شده تا به موازات آن‌ها، پنجره‌های مختلف این نرم‌افزار نیز آموزش داده شود.

در فصل اول، مقدمه‌ای بر نرم‌افزار COMSOL Multiphysics و توانایی‌های آن و آشنایی با شبیه‌سازی برای درک هرچه بیشتر و بهتر از توانایی‌های این نرم‌افزار و موارد کاربرد آن آورده شده است. در فصل دوم به بعد نحوه شبیه‌سازی پدیده‌های انتقال (حرارت، جرم و مومنتوم) و بهینه‌سازی نتایج حاصل از آن‌ها آورده شده است. فصل آخر نیز چشم‌اندازی بر COMSOL می‌باشد به این طریق ابتدا مسائل مربوط به پدیده‌های انتقال حل شده، سپس با استفاده از نتایج به دست آمده یک روش بهینه‌سازی به مسئله اضافه کرده تا نتایج مطلوب‌تری از شبیه‌سازی حاصل شود. در نهایت برای تکمیل بعضی از مباحث اشاره شده در کتاب چهار پیوست به انتهای کتاب اضافه شده است.

امید است انتقادات، پیشنهادات و نقطه نظرات ناصحانه خوانندگان ارجمند، نویسندگان مجموعه حاضر را در بهبود و تعالی موضوعات طرح شده یاری نماید. لذا از کلیه مخاطبان این کتاب تقاضا می‌شود تا راهنمایی‌هایشان را از طریق پست الکترونیکی alireza.pourparvaneh@gmail.com با ما در میان بگذارند.

در انتها لازم می‌دانیم که از زحمات و همکاری جناب آقایان مهندس محمدرضا پورپروانه، مهندس محمود محمدی، اعضای محترم هیأت علمی دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان و مهندس پویا شاه‌محمدی که در تهیه این کتاب ما را یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نماییم.

با تشکر

علیرضا پورپروانه

مریم کریمی

تقدیم به دو واژه مقدس در لغت نامه دلم

پدرم، که بابر دباری و پی‌سودن خط سفید جاده‌های سختی همیشه مراجعت کرده

و مادر مهربانم، که تمام زندگیم را بدیون مهر، عطوفت و از خودگذشتگی اومی دانم