

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس جانی

ریاضیات مدل سازی حرارتی

مقدمه‌ای بر تئوری‌های حاکم بر فرآیندهای لیزری

تألیف:

جان مایکل داودن

مترجم:

دکتر محمد حسین پور دکتر علی پور کمالی انارکی

اعضای هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

رامین محمدپور

سر شناسنامه	داودن، جان مایکل
عنوان و نام پدید آور	Dowden, John Michael
مشخصات نشر	ریاضیات مدل سازی حرارتی: مقدمه‌ای بر تئوری‌های حاکم بر فرآیندهای لیزری / تألیف جان مایکل داودن؛ ترجمه محمد حسین پور، علی پورکمالی، رامین محمدپور تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۳۱۰ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۴۵-۳
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: The mathematics of thermal modeling: an introduction to the theory of laser material processing, 2011.
موضوع	لیزر - کاربردهای صنعتی - الگوهای ریاضی
موضوع	گرما - انتقال - الگوهای رضای
شناسه افزوده	پورکمالی انارکی، علی، ۱۳۵۱-، مترجم
شناسه افزوده	حسین پور، محمد، ۱۳۵۷-، مترجم
شناسه افزوده	محمدپور، رامین، ۱۳۶۱-، مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
رده بندی کنگره	TA ۱۶۷۷/۵۲۹ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۶۶
شماره کتابشناسی ملی	۴۰۱۹۳۳۶



عنوان	ریاضیات مدل سازی حرارتی، مقدمه‌ای بر تئوری‌های حاکم بر فرآیندهای لیزری
مترجم	دکتر محمد حسین پور و دکتر علی پورکمالی انارکی، اعضای هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، رامین محمدپور
ویراستار علمی	دکتر محمد حسین پور
ویراستار ادبی	شهرام طهماسبی
نوبت چاپ	اول - پاییز ۱۳۹۴
انتشارات	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی و چاپ	آزاداندیشان، فردوس
طراح جلد	شهرام طهماسبی
ناظر چاپ	محمد معتمدی نژاد
کارشناس چاپ و صفحه‌آرا	نیره فیروزی
کارشناسان	طاهره کیا / علی رضایی اهوآئونی
شمارگان	۱۰۰۰ جلد
قیمت	۱۷/۰۰۰ تومان
شابک	ISBN: 978-600-6594-45-3 ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۴۵-۳

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و مترجمین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.
 نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰.
 تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srttu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

پیشگفتار

هدف از مدل‌سازی ریاضی این است که دریابیم پس از آنچه سؤال‌هایی باید پرسیم. Bill Steen

هدف اولیه‌ی این کتاب توضیح و شرح دادن، اصول فیزیکی است که بایستی در مدل‌سازی جنبه‌های مختلف «فرآیندهای لیزری صورت پذیرفته بر روی مواد» در نظر گرفته شوند. همچنین، فرمول‌بندی ریاضیاتی این مدل‌ها نیز یکی دیگر از اهداف این کتاب می‌باشد. شایان ذکر است، هدف اصلی ما، در واقع معرفی روشی است که توسط آن بتوانیم مدل‌های مذکور را به‌منظور دستیابی به بینش و آگاهی بیشتر از فرآیندهای مختلف به کار ببندیم. این هدف به‌وسیله‌ی ساختن مدل‌های ساده‌ای است که اصول اساسی آن‌ها به‌راحتی قابل حصول می‌باشند. برخی از کاربردهای اولیه‌ی اصول و قواعد عمومی مزبور که در این کتاب در نظر گرفتیم عبارت‌اند از: جوشکاری، عملیات سطحی، سوراخ‌کاری و برش‌کاری و همچنین، شکل‌دهی می‌باشد. لیکن، در حالت کلی این اصول کاربردهای بسیار زیادی دارند. بسیاری از تئوری‌های اشاره‌شده، نسبتاً مستقل از ماده‌ی تحت مطالعه هستند، ماده‌ای که می‌تواند یک آهن ساده، یک آلیاژ پیچیده (نظیر آن‌هایی که در صنایع فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرند)، بتون و یا اینکه پلاستیک باشد. اگرچه تمام مثال‌هایی که در این کتاب معرفی گردیده‌اند، دارای ویژگی‌های مشترکی مانند دارا بودن یک منبع توان لیزری با توان نسبتاً بالا می‌باشند، ولی شیوه‌ها و روش‌های ارائه‌شده در این کتاب بسیار کلی هستند. به‌طوری که در مدل‌سازی حرارتی زمینه‌های مختلف از میکروتکنولوژی گرفته تا لیزر درمانی، اعمال می‌شوند.

تأکید ما بر ساختن و بنای مدل‌های ساده است. این کتاب تنها مدل‌هایی را در نظر می‌گیرد که (به‌منظور به دست آوردن بینش‌های ارزشمند) بتوان آن‌ها را توسط راه‌حل‌هایی تحلیلی که به‌وسیله‌ی یک سری محاسبات عددی نسبتاً ساده پشتیبانی می‌شوند، قابل حل باشند. این محاسبات را می‌توان با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری چندمنظوره¹ و استاندارد انجام داد. در نتیجه احتیاجی به نرم‌افزارهای تخصصی یا برنامه‌های طولانی نداریم. استفاده از برنامه‌های

1. General-Purpose

اخیر، تنها یک مهارت مکمل برای انواع برنامه‌های ساده‌ی معرفی‌شده در این کتاب می‌باشند. البته، فرض می‌شود که این نرم‌افزارهای چندمنظوره قابلیت بررسی جنبه‌های عددی و معمول محاسبات جبری را دارند و همچنین می‌توانند برخی توابع خاص را نیز مورد ارزیابی قرار دهند. با این حال این امر آن قدرها هم ضروری و حیاتی به نظر نمی‌رسد. نتیجتاً، بودن آن‌ها موجب ساده‌سازی بسیار زیاد محاسبات خواهد گردید.

مدل‌سازی محاسبه‌گرایانه^۲، یک مهارت متفاوت است که در اینجا به آن اشاره نخواهد گردید؛ اما درک ایده‌های فیزیکی مشروحه، می‌تواند بسیار سودمند باشد.

هرچند که تأکید زیادی روی ایده‌های مذکور نخواهد شد؛ ولی امید است که این کتاب بتواند نشان دهد که شناسایی اصول مرتبط درزمینه‌ی پدیده‌ی تحت مطالعه به چه میزان ارزشمند است (درست برخلاف آن‌هایی که نامرتبط‌اند).

این کتاب، بدو، برای مهندسی و محققین درزمینه‌ی مواد که دوره کارشناسی ارشد خویش را سپری نموده‌اند و یا در سال اول مقطع دکترا در حال تحصیل هستند، نوشته شده است. البته، محتوای کتاب می‌تواند برای پژوهشگرانی که برای نخستین بار با مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای حرارتی مواجه شده‌اند نیز، مفید فایده باشد (بدون توجه به اینکه در چه مرحله‌ای از پیشرفت در مسیر تحقیقاتشان قرار داشته باشند). همچنین ریاضیدانانی که تمایل به بررسی مسئله‌های تکنولوژیکی دارند هم از مضامین کتاب منتفع خواهند شد. سطح پیچیدگی ریاضیاتی در چنین مدل‌هایی محدوده‌ی تغییراتی زیادی را دارا می‌باشند. بعضی از مدل‌های شرح داده شده، خیلی پیچیده نبودند. حال آنکه بعضی دیگر از سادگی کمتری برخوردار می‌باشند.

محتویات این کتاب بیشتر بر اساس موضوع مربوطه طبقه‌بندی شده‌اند تا اینکه از لحاظ پیچیدگی ریاضیاتی؛ اما به عنوان یک راهنمایی نه‌چندان خوشایند، بایستی یادآور شوم که این پیچیدگی‌ها با پیشروی بیشتر در هر فصل، رفته‌رفته افزایش می‌یابند. البته سطح پیچیدگی، در ابتدای هر فصل به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از انتهای فصل قبل، کمتر است. البته دو بخش اول فصل دوم یک استثنا در این خصوص هستند. در صورتی که برای اولین بار شروع به مطالعه‌ی این کتاب می‌نمایید، می‌توانید از بخش‌های فوق‌الذکر چشم‌پوشی نمایید. شایان‌ذکر است که در انتهای فصل دوم خلاصه‌ی نتایج مهمی که در ادامه به آن‌ها نیاز خواهید داشت، آورده شده است.

2. Computationally Oriented Modeling

فهرست

صفحه

عنوان

فصل اول (مدل سازی گرمایی)

- ۱.۱ مقدمه
- ۲.۱ اعداد بی بعد و با بعد
- ۳.۱ دو مثال نمونه

فصل دوم (اصول و قواعد فیزیکی)

- ۱.۲ معادلات حاکم
- ۲.۱.۱ معادلات بقاء
- ۲.۱.۲ معادله ی بقای جرم
- ۲.۱.۳ معادله ی هدایت حرارتی (انتقال حرارت از طریق هدایت)
- ۲.۱.۴ دینامیک یک ماده ی پیوسته
- ۲.۱.۵ معادله ی اوپلر برای یک سیال ایده آل
- ۲.۱.۶ معادلات ناویر-استوکس برای یک سیال لزج
- ۲.۱.۷ معادلات کشش حرارتی خطی
- ۲.۱.۸ شکل پذیری
- ۲.۲ شرایط مرزی
- ۲.۲.۱ فرضیات کلی
- ۲.۲.۲ شرایط مرزی حرارتی
- ۲.۲.۳ شرایط مرزی دینامیکی
- ۲.۲.۴ حالت های دیگر
- ۲.۲.۵ مؤلفه ها، در شرایط مرزی سیال
- ۲.۲.۶ شرایط مرزی الاستیک

- ۳.۲ خلاصه‌ی معادلات و شرطها
- ۳.۲.۱ کلیات
- ۳.۲.۲ شرایط و معادلات حرارتی
- ۳.۲.۳ حرکت سیال
- ۳.۲.۴ ترموالاستیسیتة

فصل سوم (دما در بلوک‌ها و صفحه‌ها)

- ۳.۱ توزیع دمایی
- ۳.۲ راه‌حل منبع نقطه‌ای
- ۳.۲.۱ جواب‌های ویژه
- ۳.۲.۲ کاربردهای راه‌حل منبع نقطه‌ای
- ۳.۳ توزیع دمایی در صفحات
- ۳.۴ جذب فرنل
- ۳.۵ راه‌حل منبع خطی

فصل چهارم (راه‌حل‌های وابسته به زمان در بلوک‌ها)

- ۴.۱ راه‌حل‌های تک‌بعدی وابسته به زمان
- ۴.۲ گرمایش از سطح سرد
- ۴.۳ منابع خطی و نقطه‌ای مستقل از زمان
- ۴.۴ پیشینه‌ی دمایی یک المان از ماده

فصل پنجم (مسائل با مرز متحرک)

- ۵.۱ مسائل استفان
- ۵.۲ مسائل نیومن

فصل ششم (مدل‌های ساده‌ی جوشکاری برای سوراخ کلیدی لیزر)

- ۶.۱ جوشکاری سوراخ کلیدی لیزر
- ۶.۲ مدل‌هایی بر اساس منابع از نوع نقطه‌ای و خطی
- ۶.۳ ارتباط بین توان جذب‌شده و شعاع سوراخ کلیدی
- ۶.۳.۱ منبع خطی به‌عنوان مدلی از سوراخ کلیدی

- ۶.۳.۲ راه حل دیویس-نولر
- ۶.۳.۳ مدل های دوبعدی دیگر برای فازهای جامد و مایع
- ۶.۴ فصل مشترک مایع و بخار
- ۶.۵ سوراخ کلیدی
- ۶.۶ مثال های عددی

فصل هفتم (ناحیه های سیال در سوراخ کلیدی حاصل از جوشکاری لیزری)

- ۷.۱ جریان در حوضچه ی جوش
- ۷.۲ فعل و انفعال حرکت در حوضچه ی جوش سوراخ کلیدی
- ۷.۳ گرمایش بخار در سوراخ کلیدی توسط لیزر

فصل هشتم (مسائل ترموالاستیک)

- ۸.۱ انبساط حرارتی
- ۸.۲ تهیه ی بتن سخت
- ۸.۳ مدل های دوبعدی
- ۸.۴ تنش های موجود در یک قطعه کار فلزی
- ۸.۵ نتیجه گیری