



به نام خدا



دینامیک سیالات محاسباتی

جریان های آشفته و تراکم ناپذیر

مؤلفان:

دکتر مهدی دادخواه
مهندس شهاب الدین بلوچی



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 می گیرند.

◀ عنوان کتاب: **دینامیک سیالاتی محاسباتی**

جریان های آشفته و تراکم ناپذیر

◀ مولفان: دکتر مهدی دادخواه - مهندس شهاب الدین بلوچی

◀ ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرای: فرناز عبدالهی

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۴۰۰

◀ چاپ و صحافی: صدف

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۱۳۰۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۱۵-۴

◀ نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱-تلفن: ۰۴۶۶۴۱۰۰۴۶-۲۲۰۸۵۱۱۱

◀ فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران :

WWW.MFTBOOK.IR

www.dibagaran-tehran.com

www.dibbook.ir

نشانی اینستاگرام دیبا [dibagaran_publishing](https://www.instagram.com/dibagaran_publishing) نشانی تلگرام: [@mftbook](https://www.telegram.com/@mftbook)

هر کتاب دیباگران، یک فرصت جدید شغلی و علمی.

هرگوشی همراه، یک فروشگاه کتاب دیباگران تهران.

از طریق سایتهای دیباگران، در هر جای ایران به کتابهای ما دسترسی دارید.

سرشناسه: کاجیشیما، تاکو، ۱۹۵۸-م. Kajishima, Takeo
عنوان و نام پدیدآور: دینامیک سیالات محاسباتی، جریان های آشفته و تراکم ناپذیر / مولفان: (تاکو کاجیشیما، کونیهیکو تایرا) مترجمان: مهدی دادخواه، شهاب الدین بلوچی.
مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری: ۳۹۰ ص: مصور،
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۱۵-۴
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: عنوان اصلی: computational fluid dynamics incompressible turbulent flows, ۲۰۱۷
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: دینامیک سیالات محاسباتی-راهنمای آموزشی
computational fluid dynamics-study and teaching
موضوع: دینامیک سیالات محاسباتی-مسائل، تمرین ها و غیره
computational fluid dynamics-problems, exercises etc.
شناسه افزوده: دادخواه، مهدی، ۱۳۶۷-مترجم
شناسه افزوده: بلوچی، شهاب الدین، ۱۳۷۱-مترجم
رده بندی کنگره: ۱۳۹۸ ک ۲ ۳۵۷/۵/۵۹ TA
رده بندی دیویی: ۵۳۲/۵
شماره کتابشناسی ملی: ۵۶۳۹۸۸۶



فهرست مطالب



۱۱.....	فصل اول	◇
۱۲.....	۱-۱ مقدمه.....	
۱۳.....	۲-۱ مروری کلی بر شبیه‌سازی جریان سیال.....	
۱۵.....	۳-۱ معادلات حاکم بر جریان سیال.....	
۲۵.....	۴-۱ شبکه‌ها برای شبیه‌سازی جریان سیال.....	
۲۸.....	۵-۱ روش‌های گسسته‌سازی.....	
۳۰.....	۶-۱ راستی آزمایی و اعتبار سنجی.....	
۳۱.....	۷-۱ نکات.....	
۳۳.....	۸-۱ تمرین‌ها.....	
۳۶.....	فصل دوم.....	◇
۳۷.....	۱-۲ مقدمه.....	
۳۷.....	۲-۲ معادله انتقال - دیفیوژن.....	
۳۹.....	۳-۲ تقریب تفاضل محدود.....	
۶۲.....	۴-۲ روش گام‌بندی زمانی.....	
۶۶.....	۵-۲ تحلیل پایداری.....	
۸۰.....	۶-۲ تفاضل محدود مرتبه بالا.....	
۸۲.....	۷-۲ ثبات و پایداری روش‌های تفاضل محدود.....	
۸۳.....	۸-۲ نکات.....	
۸۴.....	۹-۲ تمرین‌ها.....	
۸۹.....	فصل سوم.....	◇
۹۰.....	۱-۳ مقدمه.....	
۹۰.....	۲-۳ گام زمانی برای حلگرهای جریان تراکم‌ناپذیر.....	
۹۳.....	۳-۳ حلگرهای جریان تراکم‌ناپذیر.....	
۱۰۴.....	۴-۳ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه گرادیان فشار.....	

۱۱۸.....	۵-۳ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه انتقال.....
۱۳۴.....	۶-۳ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه ویسکوز.....
۱۳۷.....	۷-۳ خلاصه حلگر شبکه ثابت.....
۱۴۰.....	۸-۳ شرایط مرزی و شرایط اولیه.....
۱۵۶.....	۹-۳ گسسته‌سازی مکانی با دقت مرتبه بالا.....
۱۶۱.....	۱۰-۳ نکات.....
۱۶۲.....	۱۱-۳ تمرین‌ها.....

۱۶۹..... فصل چهارم

۱۷۰.....	۱-۴ مقدمه.....
۱۷۱.....	۲-۴ انتخاب متغیرهای اصلی.....
۱۷۲.....	۳-۴ فرم بقای قوی معادلات حاکم.....
۱۷۶.....	۴-۴ متغیرهای اساسی و دستگاه مختصات.....
۱۸۰.....	۵-۴ حلگر جریان تراکم‌ناپذیر با استفاده از شبکه‌های مرتب شده.....
۱۸۳.....	۶-۴ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه گرادیان فشار.....
۱۸۹.....	۷-۴ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه انتقال.....
۱۹۳.....	۸-۴ گسسته‌سازی مکانی مؤلفه ویسکوز.....
۱۹۳.....	۹-۴ شرایط مرزی.....
۱۹۶.....	۱۰-۴ گسسته‌سازی مکانی با دقت مرتبه بالا.....
۱۹۷.....	۱۱-۴ ارزیابی ضرایب تبدیل مختصات.....
۱۹۹.....	۱۲-۴ نکات.....
۱۹۹.....	۱۳-۴ تمرین‌ها.....

۲۰۳..... فصل پنجم

۲۰۴.....	۱-۵ مقدمه.....
۲۰۵.....	۲-۵ رویکرد نیروی پیوسته.....
۲۱۹.....	۳-۵ رویکرد نیروی گسسته.....
۲۲۵.....	۴-۵ استفاده از روش‌های مرز غوطه‌ور.....
۲۲۹.....	۵-۵ نکات.....
۲۳۰.....	۶-۵ تمرین‌ها.....

فصل ششم..... ۲۳۵

- ۱-۶ مقدمه..... ۲۳۶
۲-۶ شبیه‌سازی عددی مستقیم جریان‌های آشفته..... ۲۳۷
۳-۶ معرفی جریان‌های آشفته..... ۲۴۹
۴-۶ نکات..... ۲۶۳
۵-۶ تمرین‌ها..... ۲۶۴

فصل هفتم..... ۲۷۰

- ۱-۷ مقدمه..... ۲۷۱
۲-۷ معادلات میانگین رینولدز..... ۲۷۱
۳-۷ مدل‌سازی ویسکوزیته گردابی..... ۲۷۴
۴-۷ مدل $k - \epsilon$ ۲۷۹
۵-۷ مدل‌های دیگر ویسکوزیته گردابی..... ۲۹۰
۶-۷ مدل معادله تنش رینولدز..... ۲۹۲
۷-۷ نکات..... ۲۹۷
۸-۷ تمرین‌ها..... ۲۹۹

فصل هشتم..... ۳۰۳

- ۱-۸ مقدمه..... ۳۰۴
۲-۸ معادلات حاکم بر LES..... ۳۰۴
۳-۸ مدل اسماگورینسکی..... ۳۱۱
۴-۸ مدل تشابه مقیاس..... ۳۱۷
۵-۸ مدل دینامیکی..... ۳۱۹
۶-۸ مدل‌های دیگر ویسکوزیته گردابی SGS..... ۳۲۴
۷-۸ روش‌های عددی برای شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ..... ۳۲۹
۸-۸ نکات..... ۳۳۷
۹-۸ تمرین‌ها..... ۳۳۹

پیوست أ..... ۳۴۳

- أ-۱ تحلیل برداری و تانسوری..... ۳۴۴
أ-۲ معادلات حاکم با مؤلفه‌های ثابت سرعت..... ۳۵۲

پیوست ب ۳۵۶

ب-۱ تجزیه و تحلیل فوریه ۳۵۷

ب-۲ FFT برای تبدیل فوریه گسسته ۳۶۱

ب-۳ نمایش فضای موجی میدان‌های جریان ۳۶۲

پیوست ج ۳۶۹

ج-۱ مقدمه ۳۷۰

ج-۲ تجزیه متعامد صحیح ۳۷۱

ج-۳ تجزیه مود دینامیکی ۳۷۵

ج-۴ مدل‌سازی کاهش مرتبه ۳۷۹

معرفی مجموعه جامع آموزش CFD ۳۸۴

مقدمه ۳۸۴

مبانی شبیه‌سازی در انسیس ماکسول ۳۸۴

انسیس فلونت مقدماتی برای حرفه‌ای‌ها ۳۸۵

انسیس فلونت پیشرفته: شبیه‌سازی جریان‌های چند فازی ۳۸۶

انسیس فلونت پیشرفته: شبیه‌سازی احتراق و واکنش‌های شیمیایی ۳۸۶

آموزش جامع زبان برنامه نویسی فرترن ۳۸۷

آموزش پیشرفته CFD از صفر تا صد ۳۸۷

خط‌مشی انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌هایی با کیفیت عالی است که تواند
خواسته‌های به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد.
هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی و علمی

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 فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی و آموزشی گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و سرعت 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 برجسته نموده است.

در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران و محققان در زمینه‌های گوناگون و مورد نیاز جامعه تلاش نموده برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهد.

کتابی که در دست دارید با همت "دکتر مهدی دادخواه و مهندس شهاب‌الدین بلوچی" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

با نظرات خود مشوق و راهنمای ما باشید

با ارائه نظرات و پیشنهادات و خواسته‌های خود، به ما کمک کنید تا بهتر و دقیق‌تر در جهت رفع نیازهای علمی و آموزشی کشورمان قدم برداریم. برای رساندن پیام‌هایتان به ما از انواع رسانه‌های دیباگران تهران شامل سایتهای فروشگاهی و صفحه اینستاگرام و شماره‌های تماس که در صفحه شناسنامه کتاب آمده استفاده نمایید.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران
bookmarket@mft.info

مقدمه مولف

کاربردهای نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بر کسی پوشیده نیست و در این زمینه زیاد صحبت شده است. اما اینجانب (مترجم کتاب) به عنوان مدرس دانشگاه و پژوهشگر تحقیقاتی در صنعت، ضعف کاربران این نرم افزارها را بارها مشاهده کرده ام و می بینم که کاربران این نرم افزارها برای حل مسأله‌ی خود در بسیاری از موارد صرفاً با سعی و خطا به یک روش عددی می‌رسند و بیشتر از اینکه نقش یک محقق را داشته باشند، اپراتور نرم‌افزار هستند. همچنین در صورت رجوع به مقالات و انتخاب روشی با استناد به مقالات، باز به جواب‌های قابل قبولی نمی‌رسند و این سردرگمی مخصوصاً در دوره کارشناسی ارشد که پروژه‌ها سنگین‌تر هستند بیشتر مشاهده می‌شود. از طرفی، افراد مختلف به دلیل عدم دسترسی به همه منابع مطالعاتی، برداشت‌های متفاوتی از مراجع دارند. بر همین اساس تلاش کردیم تا در انتشارات دیباگران تهران و گروه آموزشی "راه‌نو" مجموعه‌ای شامل کتاب و ویدئوهای آموزشی در زمینه آموزش CFD طراحی و تدوین کنیم که همه افراد، حتی اگر تا بحال با مکانیک سیالات آشنایی نداشته‌اند، بتوانند در کمترین زمان ممکن، مبانی نرم‌افزار فلونت را فرا گرفته و توانایی انجام پروژه‌های آموزشی و صنعتی را در این زمینه بدست آورند. از این رو، در ابتدا مجموعه‌ای شامل کتاب و ویدئوهای آموزشی با عنوان "مجموعه‌ی جامع آموزش CFD" در این زمینه طراحی و تدوین شد. این مجموعه آموزشی که بخشی از آن در انتهای این کتاب معرفی شده است، دانشجویان و کاربران تمامی نرم افزارهای سیالاتی، اعم از کامسول، انسیس، فلونت و برنامه نویسی را گام به گام از تئوری به سمت پروژه‌های عملی هدایت می‌کند.

این کتاب، که پازل دیگری از مجموعه جامع آموزش CFD است، ترجمه‌ی کتاب دینامیک سیالات محاسباتی است که توسط پروفسور کاجیشما تالیف شده و توسط انتشارات اشپرینگر به چاپ رسیده است. مخاطبان این کتاب به سه دسته تقسیم می‌شوند:

دسته اول کسانی که قصد دارند به دنیای کدنویسی وارد شده و بجای استفاده از نرم‌افزارهای تجاری، الگوریتم‌های دینامیک سیالات محاسباتی را شخصاً توسعه دهند که پیشنهاد نویسنده، استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن است.

دسته دوم، افرادی که علاقه‌ای به کدنویسی ندارند و از نرم‌افزارهای تجاری استفاده می‌کنند اما مشتاق یادگیری الگوریتم‌های بکار رفته در این نرم‌افزارها هستند. الگوریتم‌های عددی ارائه شده در این کتاب کاملاً عمومی بوده و نمی‌توان نرم‌افزار خاصی را نام برد. اما شخصاً (مترجم کتاب) به جادوی این کتاب پی بردم. چرا که با آشنایی با روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی برای هر پروژه‌ای، راه حلی می‌یابم و هیچ‌گاه در بن‌بست حل پروژه‌های سیالاتی متوقف نمی‌شوم.

دسته سوم، دانشجویان و اساتیدی هستند که دینامیک سیالات محاسباتی را صرفاً به عنوان یک درس دانشگاهی و به صورت تئوری محض به آن نگاه می‌کنند. اگرچه به این دسته از افراد توصیه می‌شود که حتی المقدور از کتاب‌های زبان اصلی استفاده کنند، اما برای مواقعی که زمان کافی ندارند، این ترجمه، راهگشاست و زمان مطالعه را به حداقل می‌رساند.

ترجمه بخش‌های زیادی از این کتاب به صورت مفهومی بوده و در بسیاری از موارد، مترجم از دانسته‌های خود استفاده کرده است. علیرغم اینکه بنده (مترجم) تمام سال‌های دانشگاهی خود اعم از تحصیل و یا تدریس، در حوزه سیالات و CFD کار کرده‌ام، اما هیچ ادعایی مبنی بر بی‌عیب و نقص بودن کتاب ندارم تا جایی که سعی کردم در اکثر موارد، معادل انگلیسی کلمات را به صورت پانویس در همان صفحه‌ی کتاب ارائه کنم تا هم جنبه آموزشی داشته باشد و برای مبتدیان این راه، آموزنده باشد و هم اینکه اگر در مواردی، کلمات جایگزین فارسی به درستی انتخاب نشده‌اند، همه اساتید و دوستان، در اصلاح آن به بنده کمک کنند. مطمئنم در چاپ اول کتاب، نقص‌های زیادی مشاهده خواهد شد اما تلاش خواهیم کرد تا در چاپ‌های بعدی، به کمک بازخوردهای خوانندگان کتاب، مشکلات آن را رفع کنم.

در ترجمه این کتاب، آقای مهندس شهاب الدین بلوچی و خانم مهندس مائده نعمتی، کمک زیادی کردند و ترجمه بخش‌هایی از این کتاب به کمک این دو بزرگوار انجام گردید و بنده ویرایش آنرا بر عهده گرفتم. از همکاری این دو عزیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

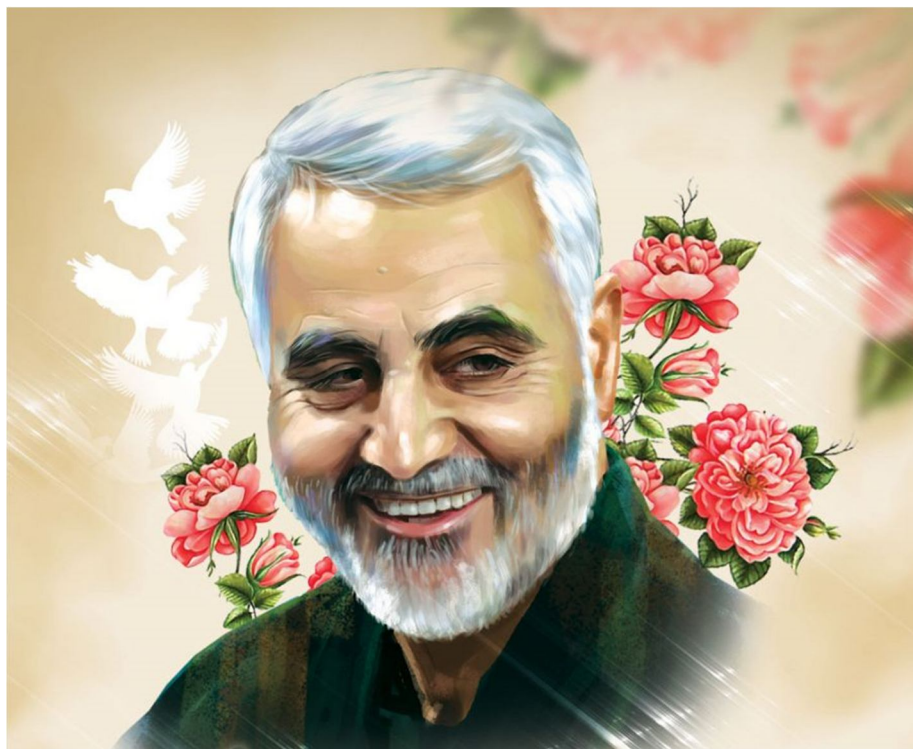
متأسفانه در سال‌های اخیر، چاپ کتاب در ایران نه تنها برای نویسنده بلکه برای انتشارات نیز عایدی مالی ندارد و بزرگترین هدف ما در چاپ این کتاب صرفاً معنوی و تقویت بنیه‌ی علمی ایران اسلامیست. امیدوارم خدا این تلاش ناچیز را از ما بپذیرد و به پاس خون شهدای این مرز و بوم که امنیت خود را مدیون آنها هستیم، بتوانیم بخشی از تکلیف خود را ادا کرده باشیم. اگر از مطالعه‌ی این کتاب راضی بودید، ما را از دعای خیر خود محروم نکنید. من الله توفیق.

مهدی دادخواه تهرانی، بهار ۱۴۰۰

dadkhah@aut.ac.ir
www.Raheno.org

تقدیم به:

سردار سپهبد، شهید حاج قاسم سلیمانی.



اگر این کتاب در آرامش و امنیت نوشته شد، جز با فداکاری شهدا نبوده است. امیدوارم در جبهه علم و دانشگاه بتوانیم سرباز این کشور باشیم و نگذاریم خون شهدا پایمال شود. با رفتن سردار شهید قاسم سلیمانی به حول و قوهی الهی کار او و راه او متوقف و بسته نخواهد شد.