

بسم الله الرحمن الرحيم

مکانیک سیالات محاسباتی

در محیط متلب

جلد اول: کاربرد روش اختلاف محدود

با همراه متن کامل برنامه‌ها

نایب

دکتر حمیدرضا وثوقی فر



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب

تهران، ۱۳۹۵

سرشناسه	: ونوقی فر، حمیدرضا، ۱۳۵۱ -
عنوان و پدیدآور	: مکانیک سیالات محاسباتی در محیط متلب / حمیدرضا ونوقی فر.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ج: جدول، نمودار.
شابک	: ۷ - ۴۰۵۰ - ۱۰ - ۹۶۴ - ۹۷۸
قیمت	: ۲۵۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه
مندرجات	: ج. ۱. کاربرد روش اختلاف محدود
موضوع	: متلب
موضوع	: MATLAB
موضوع	: سیالات -- مکانیک -- داده‌پردازی
موضوع	: Fluid mechanics -- Data processing
تسار	: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۵ / ۲۷ و ۱۵۱ / QC
رده‌بندی دیوید	: ۵۳۲ / ۰۵۱۰۲۸۵
شماره کتابشناسی	: ۶۳۹۹۳۱



مکانیک سیالات محاسباتی در محیط متلب

تألیف دکتر حمیدرضا ونوقی فر

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

رئیس انتشارات: فرشته حبیبی زاده

طراح جلد: سیده زینب حسین نژاد

ویراستار و نسخه‌پرداز: داوود ونوقی فر

صفحه‌آرا: فائزه روشنفکر

چاپ اول: ۱۳۹۵

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سازمان چاپ دانشگاه آزاد اسلامی

شابک: ۷-۴۰۵۰-۱۰-۹۶۴-۹۷۸ ISBN: 978-964-10-4050-7

قیمت: ۲۵۰۰ تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نشانی فروشگاه کتاب: خیابان شریعتی، بین اتوبان همت و حسینیه ارشاد، روبه‌روی شهرداری منطقه ۳،

دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، تلفن: ۲۲۸۹۵۸۵۳

بسم الله الرحمن الرحيم «ن والقلم و ما یسطرون»

سخن ناشر

بی تردید تعالی علمی و فرهنگی کشور، بازتاب میزان تفکری است که فرهیختگان در مقام عمل به منصه ظهور می‌رسانند. در این بین، مهم‌تر و حساس‌تر از همه، رسالت عالمان و علم‌جویان است. این رسالت، همان گونه که در جهت پرورش استعدادها، بر روی با قرائت و مطالعه انجام می‌گیرد، برای پیشبرد اهداف اجتماعی و تعالی فرهنگی، با کتابت و مباحثه نیز محقق می‌شود.

از این رو، یکی از مسئولیت‌های مراکز فرهنگی در کنار تعلیم و تربیت، نشر آثار علمی است. معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، برای ارتقای سطح علمی دانشجویان و تنویر افکار دانش‌پژوهان، به چاپ کتاب *سیالات محاسباتی در محیط متلب* اقدام کرده است؛ با این امید که با استمرار فعالیت‌های انتشاراتی، بتواند گامی در نشر اندکی فرهنگی بردارد.

دینامیک سیالات محاسباتی بصورت گسترده در زمینه‌های مختلف صنعتی مرتبط با سیالات، انتقال حرارت و انتقال مواد به کمک سیال بکار گرفته می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا، توربوماشین‌ها، صنایع هسته‌ای، صنایع نظامی، صنایع نفت و گاز و انرژی، بسیاری موارد گسترده صنعتی دیگر اشاره کرد، که دانش دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان گره‌گشای مسائل علمی مرتبط با آنها تبدیل شده است. پیش از هر چیز، شایسته است از عنایات ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، استادان ارجمند و نیز از دست‌اندرکاران ویرایش، حروف‌چینی و چاپ کتاب، قدردانی و تشکر به عمل آید.

از صاحب‌نظران گرامی خواهشمند است با ارائه پیشنهادها، در جهت اصلاح رخصت‌اشمال، این کتاب و تهیه مطالب مناسب متون درسی دانشگاهی، انتشارات این واحد را یاری کنند. امید است این اثر علمی مورد استفاده استادان و دانش‌پژوهان قرار گیرد.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

فهرست مطالب

پیش‌گفتار.....	۱۳
فصل ۱: مقدمه.....	۱۵
۱-۱ سخن آغازین.....	۱۵
فصل ۲: تحلیل دینارسی میدان جریان.....	۲۳
۱-۲ معادلات دینارسی-اسکیم بر جریان.....	۲۳
۲-۲ اصل بقای جرم (معادله پیوستگی).....	۲۵
۱-۲-۲ استحصال معادله دیفرانسیل اصل بقای جرم با استفاده از تئوری دیورژانس.....	۲۶
۲-۲-۲ استحصال معادله دیفرانسیل اصل بقای جرم با استفاده از حجم کنترلی حدى.....	۲۸
۳-۲-۲ فرم دیگر معادله پیوستگی.....	۳۲
۴-۲-۲ معادله پیوستگی در مختصات استوانه‌ای.....	۳۳
۵-۲-۲ شرایط خاص در معادله پیوستگی.....	۳۴
۳-۲ اصل بقای مومنتم خطی (معادله کوشی).....	۳۶
۱-۳-۲ استحصال معادله دیفرانسیل عمومی بقای مومنتم خطی توسط تئوری دیورژانس.....	۳۷
۲-۳-۲ استحصال معادله دیفرانسیل عمومی بقای مومنتم خطی توسط حجم کنترلی حدى.....	۳۹
۳-۳-۲ فرم دیگر معادله کوشی.....	۴۴
۴-۳-۲ استحصال معادله دیفرانسیل عمومی بقای مومنتم خطی توسط قانون دوم نیوتن.....	۴۵
۴-۲ معادله ناویر-استوکس.....	۴۶

۴۶	۱-۴-۲. مقدمه.....
۴۹	۲-۴-۲. سیال نیوتنی و سیال غیرنیوتنی.....
۵۱	۳-۴-۲. استحصال معادله ناویر- استوکس برای جریان غیرقابل تراکم و هم‌دما.....
۵۶	۴-۴-۲. معادلات پیوستگی و ناویر- استوکس در سیستم مختصات کارتزین.....
۵۶	۵-۴-۲. معادلات پیوستگی و ناویر- استوکس در سیستم مختصات استوانه‌ای.....
۵۷	۵-۲. انواع روش‌های حل.....
۵۸	۱-۵-۲. روش‌های مختلف حل عددی.....
۵۹	۲-۵-۲. مراحل حل عددی.....
۶۰	۳-۵-۲. سیستم‌های ری.....
۶۱	۴-۵-۲. روش حل به خط.....
۶۱	۶-۲. الگوریتم‌ها و چگونگی حل ماتریس‌ها.....
۶۲	۷-۲. الگوریتم برنامه عددی و چگونگی کارکرد آن.....
۶۳	۸-۲. چگونگی تشکیل ماتریس‌های حل.....
۶۵	۹-۲. شرح روش خط به خط.....
۶۷	۱۰-۲. روش ADI.....
۶۷	۱۱-۲. الگوریتم ماتریس سه‌قطری.....
۶۷	۱-۱۱-۲. مقدمه.....
۷۱	۲-۱۱-۲. کاربرد روش TDMA در مسائل دوبعدی.....
۷۲	۳-۱۱-۲. کاربرد روش TDMA در مسائل سه‌بعدی.....
۷۳	۴-۱۱-۲. مراحل حل در CFD.....
۷۴	۱۲-۲. الگوریتم توماس برای حل یک معادله سه‌قطری.....
۷۵	فصل ۳: معرفی روش اختلاف محدود.....
۷۵	۱-۳. مقدمه.....
۸۲	۲-۳. معرفی فرمول‌های اختلاف محدود.....

فصل ۴: معادلات اختلاف محدود..... ۹۵

- ۱-۴. مقدمه..... ۹۵
- ۲-۴. کاهش خطای منفصل سازی..... ۹۹
- ۳-۴. حل معادله پواسون..... ۱۰۳
- ۴-۴. انواع پدیده‌های موجود در طبیعت..... ۱۲۹
- ۵-۴. کاربرد روش رو به جلو برای معادله ۴-۳۹..... ۱۳۰
- ۶-۴. کاربرد روش رو به عقب..... ۱۳۳
- ۷-۴. کاربرد روش انتقال مرکزی..... ۱۳۴
- ۸-۴. کاربرد روش لاکس برای معادله ۴-۳۹..... ۱۳۵
- ۹-۴. تفاوت روش ضریب و تدریج در معادلات..... ۱۳۵
- ۱۰-۴. کاربرد روش ضمنی رو به عقب..... ۱۳۶
- ۱۱-۴. کاربرد روش ضمنی تفاضل مرکزی..... ۱۳۷
- ۱۲-۴. کاربرد روش ضمنی لاکس..... ۱۳۷
- ۱۳-۴. چگونگی سرشکن کردن خطاها..... ۱۴۷

فصل ۵: معادلات دیفرانسیل جزئی..... ۱۴۹

- ۱-۵. مقدمه‌ای بر معادلات دیفرانسیل جزئی..... ۱۴۹
- ۲-۵. معادلات دیفرانسیل سهموی..... ۱۵۱
- ۱-۲-۵. حل معادله..... ۱۵۲
- ۲-۲-۵. کاربرد روش ضمنی تفاضل محدود برای منفصل سازی معادلات سهموی..... ۱۵۵
- ۳-۲-۵. کاربرد روش کرانک-نیکولسون برای معادله ۵-۹..... ۱۶۲
- ۳-۵. معادلات دیفرانسیل جزئی بیضوی..... ۱۶۶
- ۱-۳-۵. چگونگی منفصل سازی معادلات به روش اختلاف محدود..... ۱۶۶
- ۲-۳-۵. معادله دوبعدی انتقال گرما با در نظر گرفتن زمان..... ۱۷۲
- ۳-۳-۵. منفصل سازی معادلات..... ۱۷۳

۲۱۶	۴-۵. عمومی کردن معادلات.....
۲۲۲	۱-۴-۵. عمومی سازی روابط.....
۲۳۰	۲-۴-۵. منفصل سازی معادلات دارای انتشار و پخش.....
۲۳۸	۳-۴-۵. فرم عمومی معادلات.....
۲۴۲	۴-۴-۵. معادله دو بعدی دارای انتقال و پخش.....
۲۵۰	۵-۵. معادلات دیفرانسیل هذلولی.....
۲۵۰	۱-۵-۸. مقدمه.....
۲۵۱	۲-۵-۸. منفصل سازی معادلات هذلولی.....
۲۵۷	۳-۵-۸. حل معادلات هذلولی با زمان.....
۲۶۳	۵-۵. حل معادلات هذلولی به کمک روش ADI.....
۲۷۰	فصل ۶: نحوه مدل سازی جریان آشفته.....
۲۷۰	۱-۶. مقدمه.....
۲۷۱	۲-۶. معادلات جریان متوسط و مسائل مرتبط به آن.....
۲۷۱	۱-۲-۶. معادلات اصلی متوسط رولندز.....
۲۷۳	۳-۶. ویسکوزیته گردابی و مفهوم پراکندگی.....
۲۷۵	۴-۶. انواع مدل های آشفتهگی.....
۲۷۶	۱-۴-۶. ویسکوزیته و پراکندگی گردابی ثابت.....
۲۷۷	۲-۴-۶. مدل های طول اختلاط.....
۲۷۹	۳-۴-۶. مدل های یک معادله ای.....
۲۸۰	۴-۴-۶. معادلات $k-\epsilon$
۲۸۱	۵-۴-۶. تعیین مقیاس طول.....
۲۸۴	۵-۶. مدل های دومعادله ای.....
۲۸۵	۱-۵-۶. مدل $k-\epsilon$ استاندارد.....
۲۸۷	۶-۶. چگونگی مدل کردن جریان های آشفته.....

فصل ۷: استخراج اصلی برای حصول جواب‌های فیزیکی معتبر در CFD..... ۲۸۸

۱-۷. سازگاری و همگرایی..... ۲۸۸

۲-۷. کنترل نتایج فیزیکی..... ۲۸۹

۳-۷. ارضای قانون پیوستگی..... ۲۸۹

۴-۷. مثبت‌بودن ضرایب..... ۲۹۰

۵-۷. تعریف اعداد پیکلت، کرانت و فوریه..... ۲۹۰

۶-۷. تعریف عدد پیکلت در حالت دوبعدی..... ۲۹۴

۷-۷. تعریف عدد کرانت..... ۳۰۰

۸-۷. اعداد کرانت و فوریه در یک رابطه..... ۳۰۴

۹-۷. چگونگی پیدایش به روش روبه عقب..... ۳۰۸

۱۰-۷. روش دو فکتور فیک..... ۳۰۹

فصل ۸: تقاریم مختلف زمانی..... ۳۲۱

۱-۸. مقدمه..... ۳۲۱

۲-۸. روش اولر پیشرو..... ۳۲۱

۳-۸. روش کرانک - نیکولسون..... ۳۲۱

۴-۸. روش اسدريک..... ۳۲۱

۵-۸. روش فرس..... ۳۲۲

۶-۸. روش وئوقی فر..... ۳۲۳

فصل ۹: شبکه‌های قطبی و نامنظم..... ۳۵۶

۱-۹. استفاده از شبکه قطبی..... ۳۵۶

۱-۱-۹. نحوه مدل کردن پروسه انتقال گرما در اطراف یک استوانه..... ۳۵۶

۲-۱-۹. استفاده از مختصات قطبی در حل معادلات حاکم..... ۳۶۵

۲-۹. استفاده از شبکه مثلثی برای منفصل سازی معادلات..... ۴۰۲

۱-۲-۹. اجزای متناهی..... ۴۰۶

۴۰۹	۲-۲-۹. محاسبه P_{ij}
۴۱۲	۳-۲-۹. محاسبه Q_j
۴۱۴	۴-۲-۹. شرایط مرزی.....
۴۱۶	۵-۲-۹. نمودار گردشی حل برنامه.....
۴۳۱	۶-۲-۹. نتایج عددی و تحلیلی.....
۴۳۹	فصل ۱۰: شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۳۹	۱۰. آغاز سخن.....
۴۴۰	۱۰. انواع شبکه‌بندی.....
۴۴۰	۱-۲-۱۰. شبکه‌بندی ساختاریافته.....
۴۴۱	۲-۲-۱۰. شبکه‌بندی اختاریافته.....
۴۴۲	۳-۲-۱۰. شکل‌های.....
۴۴۳	۳-۱۰. شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۴۴	۱-۳-۱۰. الگوریتم‌های ایجاد شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۴۷	۴-۱۰. مثلث‌بندی دلایینی.....
۴۵۰	۱-۴-۱۰. الگوریتم‌های ایجاد مثلث‌بندی دلایینی.....
۴۵۶	۵-۱۰. ارتباط شبکه‌بندی ورنوی و مثلث‌بندی دلایینی.....
۴۵۶	۱-۵-۱۰. تبدیل شبکه‌بندی ورنوی به مثلث‌بندی دلایینی.....
۴۵۷	۲-۵-۱۰. تبدیل مثلث‌بندی دلایینی به شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۵۸	۶-۱۰. کاربردهای مختلف شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۵۹	۷-۱۰. معایب شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۶۰	فصل ۱۱: گسسته‌سازی معادلات حاکم بر جریان در شبکه‌بندی ورنوی.....
۴۶۰	۱-۱۱. مقدمه.....
۴۶۰	۲-۱۱. گسسته‌سازی ناحیه مورد بررسی.....
۴۶۲	۳-۱۱. گسسته‌سازی معادلات حاکم.....

۴۶۳	۱-۳-۱۱. گسسته‌سازی معادله پیوستگی.....
۴۶۷	۲-۳-۱۱. گسسته‌سازی معادله ناویر - استوکس.....
۴۷۰	۳-۳-۱۱. معادله گسسته با طرح روبه بالادست.....
۴۷۲	۴-۳-۱۱. معادله گسسته عمومی.....
۴۷۵	۵-۳-۱۱. معادله گسسته عمومی برای محاسبه میدان سرعت u
۴۷۶	۶-۳-۱۱. معادله گسسته عمومی برای محاسبه میدان سرعت v
۴۷۶	۷-۳-۱۱. خاصه D_f ، ترم فشار و تقارین مختلف زمانی.....
۴۹۱	فهرست منابع.....

پیش‌گفتار

دینامیک سیالات محاسباتی^۱ یکی از قوی‌ترین روش‌هایی است که علم مکانیک قدیم را به علوم رایانه و توانمندی‌های نوین محاسباتی عددی در نیمه دوم قرن بیستم و در سده جدید میلادی وصل کرده است. در این روش با تبدیل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای حاکم بر سیالات، به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات فراهم می‌شود. برای حصول به نتیجه مورد نظر محدوده حل باید به حجم‌ها یا المان‌های ریزتری تقسیم‌بندی شوند. با تقسیم ناحیه مورد نظر برای تحلیل به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی رای‌گره‌های مرزی با اعمال تقریب‌هایی یک دستگاه معادلات خطی به دست می‌آید که با حل این دستگاه معادلات جبری، میدان سرعت، فشار و دما در ناحیه مورد نظر بدست می‌آید. در گذشته با توجه به محدودیت‌های حل عددی برای حل ماتریس‌های سه قطری ناشی از منفصل‌سازی، روش‌های تحلیلی نخستین ارائه شده بود. ولیکن با پیشرفت علوم عددی در حال حاضر دستگاه معادلات ماتریس به راحتی حل می‌شود.

با استفاده از نتایج بدست آمده از حل معادلات می‌توان برآورد نیروهای وارد بر سطوح، ضرایب برا و پسا و ضریب انتقال حرارت را محاسبه کرد. حل معادلات در مکانیک سیالات یکی از مطرح‌ترین مسائل در علوم و مهندسی است. در اغلب موارد فرمول‌بندی قوانین پایه مکانیک سیالات به صورت معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (پی دی ای) در می‌آید. بیشتر معادلات به صورت معادلات دیفرانسیل پاره‌ای مرتبه دوم ظاهر می‌شوند. بنابراین این نوع معادلات در مکانیک سیالات و انتقال حرارت از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. معادلات حاکم در مکانیک سیالات یک مجموعه معادلات دیفرانسیل پاره‌ای غیرخطی و وابسته ایجاد می‌کنند که باید در قلمرو ناهموار با شرایط اولیه و مرزی مختلف حل شوند. دینامیک سیالات محاسباتی بصورت گسترده در زمینه‌های مختلف صنعتی مرتبط با سیالات، انتقال حرارت و انتقال مواد به کمک سیال بکار گرفته می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا، توربوماشین‌ها، صنایع هسته‌ای، صنایع نظامی، صنایع نفت و

گاز و انرژی و بسیاری موارد گسترده صنعتی دیگر اشاره کرد، که دانش دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان گره گشای مسائل صنعتی مرتبط با آنها تبدیل شده است.

می توان ابراز کرد که در حال حاضر بسیاری از معادلات پیچیده با استفاده از تقریب مختلف با تبدیل شدن به معادلات جبری از طریق روش های عددی قابل حل هستند. در این کتاب با استفاده از برنامه متلب^۱ کلیه معادلات ارائه شده منفصل سازی شده و برنامه آن به همراه نمودار گردشی ارائه شده است.

این کتاب می تواند مرجع مناسبی برای دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری باشد. از کلیه اندیشمندان و محققان محترم تقاضا دارد نقاط ضعف و قدرت این کتاب را به پست الکترونیکی اینجانب ارسال فرمایند تا در چاپ های بعد اصلاح های لازم صورت پذیرد. در پایان، همه حقوق معنوی و مادی متعلق به هلف در این کتاب، به مؤسسه خیریه بجه های آسمان تقدیم می شود.

حمید رضا وثوقی فر

Vosoughifar@Azad.ac.ir