

به نام خدا

شبیه سازی جریان و انتقال حرارت با OPENFOAM 3.x

مؤلف:

نیما سام خانیانی

با همکاری:

سدید سلاجقه

مجتبی امیر اصلان پور



۱۳۹۶

سرشناسه: سام‌خانیانی، نیما، ۱۳۶۵-

عنوان و نام پدیدآور: شبیه‌سازی جریان و انتقال حرارت با OPENFOAM3.X

نیما سام‌خانیانی، سدید سلاجقه، مجتبی امیر اصلان‌پور.

مشخصات نشر: تهران: اندیشه سرا، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۳۸۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۳۲-۰۰۵-۵

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

موضوع: سیالات--دینامیک--ترم‌افزار

موضوع: Fluid dynamics--Software

موضوع: سیالات--دینامیک--شبیه‌سازی کامپیوتری

موضوع: Fluid dynamics--computer simulation

شناسه افزوده: سلاجقه، سدید، ۱۳۶۳-

شناسه افزوده: امیر اصلان‌پور، مجتبی، ۱۳۶۹-

ده بندی کنگره: ۱۳۹۶ س۲ ن۴/۵/۳۵۷/۵ TA

ده بندی دیویی: ۶۲۰/۱۰۶۴

شماره کتاب‌شناسی ملی: ۴۸۱۹۹۴۵

برای اطلاع از درست‌نامه‌ی احتمالی، فایل‌های ضمیمه با مطلب تکمیلی مرتبط با هر یک از کتاب‌های اندیشه سرا
لطفاً نام کتاب را در یک ابزار شبکه سازی به شماره ۰۹۳۵۶۷۲۵۷۲۲ پیام دهید.



انتشارات اندیشه سرا

شبیه‌سازی جریان و انتقال حرارت با OPENFOAM3.X

مؤلف: نیما سام‌خانیانی

با همکاری: سدید سلاجقه، مجتبی امیر اصلان‌پور

چاپ اول، ۱۳۹۶، شمارگان ۲۰۰، ۲۷۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۳۲-۰۰۵-۵ ISBN: 978-600-332-005-5

حق چاپ و نشر محفوظ و هرگونه استفاده از محتوای این کتاب به داشتن اجازه‌ی کتبی نیازمند است.

تهران، میدان انقلاب، کوچه آبرو، پلاک ۲، واحد ۴۲ (ساعت ۹ تا ۱۴)

«انتشارات اندیشه‌سرا» از انتشار کتاب‌های ارزشمند حمایت می‌کند: ۰۹۱۲۳۱۶۱۶۸۷

www.andishehsara.org

سخنی با خوانندگان

این کتاب سومین ویرایش از کتاب مدل‌سازی جریان و انتقال حرارت با این فوم است. ویرایش اول چهار سال پیش عرضه شد. در ویرایش اولیه رویکرد کتاب آموزش مدل‌سازی‌های ابتدایی و پایه با نرم‌افزار این فوم بود تا راه دشوار یادگیری این نرم‌افزار به دلیل پراکندگی مراجع و محیط متنی، سریع‌تر و آسان‌تر طی شود. خوش‌بختانه این کتاب مورد استقبال جامعه دانشگاهی قرار گرفت و تا ۳ بار تجدید چاپ شد. اگرچه این کتاب توانست به هدف اولیه‌ی من که آن گسترش استفاده از این نرم‌افزار بود کمک شایانی کند، اما گسترش زمینه‌هایی تحقیقاتی که با این نرم‌افزار در داخل کشور صورت می‌گیرد، این نیاز را به وجود آورد تا کتابی گردآوری شود تا علاوه بر مباحث مقدماتی کتاب پیشین، شامل مباحث جدیدی باشد تا نقاط خالی کتاب قبل را پوشش دهد. بنابراین با کمک دوستان خوبم سبحان امامی (دکترای تبدیل انرژی از دانشگاه تربیت مدرس)، علیرضا علیپور (دکترای تبدیل انرژی از دانشگاه تربیت مدرس)، محمد فرشته‌پور (دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تهران) و ساسان قمی (کارشناس ارشد تبدیل انرژی از دانشگاه سمنان) ویرایش دوم این کتاب عرضه شد. در ویرایش دوم کتاب مدل‌سازی هندسه‌های پیچیده با *snappyHexMesh*، مدل‌سازی توربومشین، مدل‌سازی احتراق و مدل‌سازی شبکه‌های مرکب از مباحث گذشته افزوده شده است، که همچون ویرایش اول مورد استقبال قرار گرفت و چندین بار تجدید چاپ شد. هم‌اکنون گروه‌های مختلفی در رشته‌های مکانیک، عمران، مهندسی شیمی، نفت در دانشگاه‌های ایران با این نرم‌افزار کار می‌کنند. رویکرد ویرایش سوم کتاب در ادامه‌ی رویکرد دو کتاب گذشته آموزش این فوم به زبان ساده و از طریق حل مساله است. با توجه به ارزشمندی این فوم، این کتاب بر اساس *OpenFOAM-3.0* نوشته شده است اما مطالب کتاب با آخرین نسخه این فوم (*OpenFOAM-4*) نیز سازگار است. مطالب دو کتاب پیشین بر اساس این نسخه به‌روز شده است هم‌چنین برای سازگاری تمامی فصول با نسخه‌ی *3.0* نرم‌افزار فصل ۱۰ از ویرایش دوم حذف شده است. در ویرایش حاضر، دو فصل جدید به کتاب افزوده شده است در این دو فصل جریان دو فاز گاز-ذره به روش اویلری-لاگرانژی در سیکلون و نیز جریان توربولانسی باد در محیط شهری شبیه‌سازی شده است.

در این‌جا لازم است تا از خانم‌ها نسیم محبوب بصیری، شیرین طالعی فرد و جناب آقای پویا خداپرست که مرا در اصلاح ویرایش نخست کتاب یاری رساندند و از جناب آقای نوید جعفری که ویرایش متن حاضر را بر عهده داشتند تشکر و قدردانی کنم. هم‌چنین از همه‌ی

عزیزانی که کمک کردند تا این مجموعه به دست شما برسد مخصوصاً جناب آقای دکتر پاکروح سپاسگزارم. با تمام تلاش و دقت نظری که صرف ویرایش و گردآوری مطالب کتاب صورت گرفته است. این مجموعه خالی از اشکال نخواهد بود. بنابراین از خوانندگان درخواست می‌شود تا نظرات، پیشنهادها و انتقادات خود به مطالب این کتاب را از طریق ایمیل زیر با من در میان بگذارند.

nima.samkhaniani@gmail.com

همچنین خوانندگان عزیز برای دریافت خبرهای جدید درباره‌ی رویدادهای مرتبط با این فوم شامل مطالب، آموزش، دوره‌های آموزشی و یا دسترسی به تمارین و فایل‌های ضمیمه کتاب می‌توانند به وبسایت زیر رجوع کنند.

<http://openfoam.blogfa.com/>

نیما سام‌خانیانی

فهرست

۱- معرفی	۱۵
۲- نسخه‌های این فوم	۱۶
۱-۲- نصب هم‌زمان چندین نسخه‌ی این فوم	۱۷
۳- مراجع	۱۸
۴- محیط گرافیکی کاربران (GRAPHICAL USER INTERFACE)	۱۸
۵- ساختار این فوم	۱۹

فصل اول

حل میدان جریان در داخل کانال ۲ بعدی همراه با حفره	۲۳
۱-۱- پیش نیاز	۲۳
۱-۲- تعریف مسئله	۲۳
۱-۳- استراتژی حل	۲۴
۱-۴- پیش پردازش	۲۵
۱-۴-۱- رسم شکل در blockMeshDict	۲۵
۱-۴-۲- اعمال شرایط مرزی	۳۲
۱-۴-۳- آماده‌سازی مقادیر فیزیکی	۳۴
۱-۴-۴- تعیین گام زمانی	۳۵
۱-۵- پردازش	۳۶
۱-۶- پس پردازش	۳۷
۱-۶-۱- بررسی همگرایی با استفاده از foamLog	۳۷
۱-۶-۲- رسم کانتور سرعت با نرم‌افزار ParaView	۳۹
۱-۶-۳- رسم خطوط جریان	۴۱
۱-۷- خطاهای رایج	۴۱
۱-۸- خلاصه	۴۳
۱-۹- تمرین	۴۳

فصل دوم

۴۵	مدل سازی حرکت حباب در هندسه ی متقارن محوری
۴۵	۱-۲- پیش نیاز
۴۵	۲-۲- تعریف مسئله
۴۶	۳-۲- استراتژی حل
۴۷	۴-۲- پیش پردازش
۴۷	۱-۴-۲- blockMeshDict در رسم شکل
۵۱	۱-۲-۴-۲- اعمال شرایط مرزی
۵۵	۳-۴-۲- شرط اولیه ی غیر یکنواخت
۵۷	۴-۴-۲- آماده سازی مقادیر فیزیکی
۵۹	۵-۴-۲- تعیین گام زمانی
۶۱	۵-۲- پردازش
۶۱	۱-۵-۲- Allclean, Allrun
۶۲	۶-۲- پس پردازش
۶۲	۱-۶-۲- رسم کامل
۶۶	۲-۶-۲- تهیه ی فیلم
۶۷	۷-۲- خلاصه
۶۷	۸-۲- تمرین

فصل سوم

۶۹	جریان سیال و انتقال حرارت در زانویی اختلاط
۶۹	۱-۳- پیش نیاز
۷۰	۲-۳- تعریف مسئله
۷۰	۳-۳- استراتژی حل
۷۱	۴-۳- پیش پردازش
۷۱	۱-۴-۳- ورود مش از gambit
۷۶	۲-۴-۳- اعمال شرایط مرزی
۸۶	۳-۴-۳- آماده سازی مقادیر فیزیکی
۸۸	۴-۴-۳- تعیین گام زمانی

۸۹	fvSolution	۳-۴-۵-فایل
۹۱		۳-۵-پردازش
۹۱		۳-۶-پس پردازش
۹۱	probe	۳-۶-۱-پروبه
۹۳	calculator	۳-۶-۲-کالکولاتر
۹۴		۳-۷-خطاهای رایج
۹۵		۳-۸-خلاصه
۹۶		۳-۹-تمرین
		فصل چهارم
۹۷		مدل سازی انتقال حرارت چندگانه (Conjugate Heat Transfer)
۹۷		۴-۱-پیش نیاز
۹۷		۴-۲-تعریف مسئله
۹۸		۴-۳-استراتژی حل
۹۹		۴-۴-پیش پردازش
۹۹	blockMeshDict	۴-۴-۱-رسم شکل در
۱۰۷		۴-۴-۲-اعمال شرایط مرزی
۱۱۳		۴-۴-۳-شرط مرزی غیریکنواخت
۱۱۳		۴-۴-۴-جداسازی ناحیه ی سیال از جامد
۱۱۴		۴-۴-۵-آماده سازی مقادیر فیزیکی
۱۱۷		۴-۴-۶-تعیین گام زمانی
۱۱۹	fvSchemes و fvSolution	۴-۴-۷-آماده سازی
۱۲۰		۴-۵-پردازش
۱۲۲		۴-۶-پس پردازش
۱۲۳		۴-۷-نگاشت
۱۲۳		۴-۸-پردازش موازی
۱۲۵		۴-۹-خلاصه
۱۲۵		۴-۱۰-تمرین

فصل پنجم

۱۲۷.....	۵- مدل سازی توربوماشین
۱۲۷.....	۵-۱- پیش نیاز
۱۲۷.....	۵-۲- تعریف مسئله
۱۲۹.....	۵-۳- استراتژی حل
۱۲۹.....	۵-۴- پیش پردازش
۱۲۹.....	۵-۴-۱- ورود هندسه با فرمت STL
۱۳۰.....	۵-۴-۲- ایجاد مش پایه با blockMeshDict
۱۳۱.....	۵-۴-۳- ویرایش فایل snappyHexMeshDict
۱۳۵.....	۵-۴-۴- ایجاد شبکه حول پروانه
۱۳۶.....	۵-۴-۵- فرمان createPatch
۱۳۸.....	۵-۴-۶- بررسی شبکه
۱۴۰.....	۵-۴-۷- تغییر اندازه‌ی هندسه مسئله
۱۴۰.....	۵-۴-۸- نمایش پروانه در paraView
۱۴۲.....	۵-۴-۹- شرایط مرزی
۱۴۴.....	۵-۴-۱۰- تعیین ناحیه‌ی MRF
۱۴۴.....	۵-۴-۱۱- تعیین ثوابت فیزیکی
۱۴۴.....	۵-۴-۱۲- آرام یا مغشوش
۱۴۵.....	۵-۴-۱۳- تعیین گام زمانی
۱۴۶.....	۵-۴-۱۴- رسم خطوط جریان با streamlines
۱۴۷.....	۵-۴-۱۵- potentialFoam
۱۴۸.....	۵-۴-۱۶- تعیین باقی مانده‌ها
۱۴۸.....	۵-۵- پردازش
۱۴۸.....	۵-۶- پس پردازش
۱۵۱.....	۵-۷- خلاصه
۱۵۱.....	۵-۸- تمرین

فصل ششم

۱۵۳.....	مدل سازی سیال با ویژگی‌های فیزیکی متغیر با دما
----------	--

۱۵۳.....	۱-۶-پیش نیاز.....
۱۵۳.....	۲-۶-تعریف مسئله.....
۱۵۴.....	۳-۶-استراتژی حل.....
۱۵۵.....	۴-۶-استخراج معادلات.....
۱۵۵.....	۵-۶-کدخوانی.....
۱۵۶.....	۱-۵-۶-icoFoam.C.....
۱۶۰.....	۲-۵-۶-creatFields.H.....
۱۶۲.....	۶-۶-حلگر جدید.....
۱۶۳.....	۱-۶-۶-آماده ری اولیه.....
۱۶۳.....	۲-۶-۶-کدنویسی.....
۱۶۵.....	۳-۶-۶-ایجاد فایل اجرایی.....
۱۶۶.....	۷-۶-حل مسئله با حلگر جدید.....
۱۷۰.....	۸-۶-خطاها.....
۱۷۱.....	۹-۶-خلاصه.....
۱۷۱.....	۱۰-۶-تمرین.....

فصل هفتم

۱۷۳.....	شبیه سازی جریان بر روی سرریز پلکانی.....
۱۷۳.....	۱-۷-پیش نیاز.....
۱۷۳.....	۲-۷-تعریف مسئله.....
۱۷۴.....	۳-۷-استراتژی حل.....
۱۷۵.....	۴-۷-معادلات حاکم.....
۱۷۶.....	۵-۷-پیش پردازش.....
۱۷۶.....	۱-۵-۷-ایجاد شبکه پایه با blockMesh.....
۱۷۹.....	۲-۵-۷-ایجاد شبکه حول سرریز با snappyHexMesh.....
۱۸۳.....	۳-۵-۷-تبدیل مش سه بعدی به دو بعدی با extrudeMesh.....
۱۸۶.....	۴-۵-۷-اعمال شرایط مرزی.....
۱۹۴.....	۵-۵-۷-آماده سازی مقادیر فیزیکی.....
۱۹۵.....	۶-۵-۷-تعیین گام زمانی و تنظیمات swak4Foam.....

۱۹۹.....	fvScheme و fvSolution فایل ۷-۵-۷
۲۰۲.....	۶-۷-۷ پردازش
۲۰۳.....	۷-۷-۷ پس پردازش
۲۰۳.....	swak4Foam-۱-۷-۷
۲۰۶.....	paraFoam-۲-۷-۷
۲۰۸.....	۸-۷ خطاهای رایج
۲۰۹.....	۹-۷ خلاصه
۲۰۹.....	۱۰-۷ تمین

فصل هشتم

۲۱۱.....	مدل سازی انتقال گونه ها جریان احتراقی گازی غیر پیش آمیخته
۲۱۱.....	۱-۸-۱ پیش نیاز
۲۱۲.....	۲-۸-۱ تعریف مسئله
۲۱۳.....	۳-۸-۱ استراتژی حل
۲۱۳.....	۴-۸-۱ معادلات حاکم
۲۱۵.....	۵-۸-۱ پیش پردازش
۲۱۵.....	۱-۵-۸ نحوه ی ایجاد شبکه با blockMesh
۲۱۸.....	۲-۵-۸ اعمال شرایط مرزی
۲۳۰.....	۳-۵-۸ شرط اولیه ی غیر یکنواخت با setFields
۲۳۱.....	۴-۵-۸ تعیین خواص ترموفیزیکی در thermoPhysicalProperties
۲۳۲.....	۵-۵-۸ تعیین مدل احتراقی در combustionProperties
۲۳۴.....	۶-۵-۸ انتخاب حلگر واکنش های شیمیایی در chemistryProperties
۲۳۵.....	۷-۵-۸ تنظیمات مدل اغتشاشی
۲۳۶.....	۸-۵-۸ فایل ترمودینامیک (thermo.compressibleGas)
۲۳۷.....	۹-۵-۸ فایل های سینتیک شیمیایی (reaction)
۲۳۸.....	۱۰-۵-۸ نحوه تعیین گام زمانی
۲۳۹.....	۱۱-۵-۸ فایل fvSchemes
۲۴۱.....	۱۲-۵-۸ فایل fvSolution
۲۴۲.....	۶-۸ پردازش

۲۴۳.....	۷-۸-پس پردازش.....
۲۴۴.....	۸-۸-خطاهای رایج.....
۲۴۵.....	۹-۸-خلاصه.....
۲۴۶.....	۱۰-۸-تمرین.....

فصل نهم

۲۴۷.....	مدل سازی احتراق پیش آمیخته به کمک شبیه سازی گردابه های بزرگ.....
۲۴۷.....	۱-۹-پیش نیاز.....
۲۴۸.....	۲-۹-تعریف مسئله.....
۲۴۸.....	۳-۹-استراتژی حل.....
۲۴۹.....	۴-۹-مقدمه ای بر حلگر XiFoam.....
۲۵۰.....	۵-۹-معادلات حاکم.....
۲۵۱.....	۶-۹-پیش پردازش.....
۲۵۱.....	۱-۶-۹-نحوه ی ایجاد شبکه.....
۲۵۶.....	۲-۶-۹-اعمال شرایط مرزی.....
۲۶۵.....	۳-۶-۹-تعیین خواص ترموفیزیکی.....
۲۶۸.....	۴-۶-۹-تنظیم ثوابت و ضرایب مربوط به مدل ا- راقی ولر.....
۲۷۱.....	۵-۶-۹-تنظیمات مدل اغتشاشی.....
۲۷۲.....	۶-۶-۹-نحوه تعیین گام زمانی.....
۲۷۲.....	۷-۶-۹-فایل fvSchemes.....
۲۷۳.....	۸-۶-۹-فایل fvSolution.....
۲۷۴.....	۷-۹-پردازش.....
۲۷۴.....	۸-۹-پس پردازش.....
۲۷۴.....	۱-۸-۹-محاسبه ی مقادیر میانگین و نوسانی.....
۲۷۵.....	۲-۸-۹-کانتور دما.....
۲۷۶.....	۹-۹-خلاصه.....

فصل دهم

۲۷۷.....	جریان اتمسفری روی ساختمان.....
۲۷۸.....	۱-۱۰-پیش نیاز.....

۲۷۸.....	۱۰-۲-تعریف مسئله.....
۲۸۰.....	۱۰-۳-استراتژی حل.....
۲۸۱.....	۱۰-۴-پیش پردازش.....
۲۸۱.....	۱۰-۴-۱-رسم هندسه و شبکه بندی.....
۲۸۴.....	۱۰-۴-۲-Yplus و ضخامت لایه المان مجاور به مرز.....
۲۸۷.....	۱۰-۴-۳-اعمال شرایط مرزی.....
۲۹۳.....	۱۰-۴-۴-ثابت و تنظیمات مسئله.....
۲۹۵.....	۱۰-۵-تعین شرایط اولیه.....
۲۹۶.....	۱۰-۶-پردازش.....
۲۹۷.....	۱۰-۷-پس پردازش.....
۲۹۷.....	۱۰-۷-۱-بررسی صحت نتایج لایه اول روی مرز.....
۲۹۹.....	۱۰-۷-۲-رسم کانتورها در میدان روی ساختمان ها.....
۳۰۱.....	۱۰-۷-۳-استخراج داده ها برای مقایسه با نتایج تجربی.....
۳۰۴.....	۱۰-۸-خلاصه.....
۳۰۴.....	۱۰-۹-تمرین.....

فصل یازدهم

۳۰۵.....	جداکننده های سیکلونی.....
۳۰۵.....	۱۱-۱-پیش نیاز.....
۳۰۶.....	۱۱-۲-تعریف مساله.....
۳۰۶.....	۱۱-۳-استراتژی حل.....
۳۰۷.....	۱۱-۴-مقدمه ای بر روش های مدل سازی DPM و MPPIC.....
۳۱۰.....	۱۱-۵-معادلات حاکم.....
۳۱۱.....	۱۱-۵-۱-معادلات حاکم بر فاز پیوسته.....
۳۱۲.....	۱۱-۵-۲-معادلات حاکم بر فاز گسسته.....
۳۱۵.....	۱۱-۵-۳-برخورد بین ذرات در روش MPPIC.....
۳۱۷.....	۱۱-۶-پیش پردازش.....
۳۱۷.....	۱۱-۶-۱-ورود هندسه ی شبکه.....
۳۱۸.....	۱۱-۶-۲-ایجاد شبکه پایه با blockMeshDict.....

۳۲۰.....	۱۱-۶-۳- ایجاد شبکه نهایی با snappyIlexMesh
۳۲۱.....	۱۱-۶-۴- اعمال شرایط مرزی
۳۲۵.....	۱۱-۶-۵- آماده‌سازی مقادیر فیزیکی
۳۳۴.....	۱۱-۶-۶- تعیین گام زمانی
۳۳۵.....	۱۱-۷- پردازش
۳۳۶.....	۱۱-۸- پس پردازش
۳۳۶.....	۱۱-۸-۱- نشان دادن ذرات
۳۳۷.....	۱۱-۸-۲- نشان دادن سرعت و فشار جریان گاز
۳۳۸.....	۱۱-۹- خلاصه
۳۳۹.....	۱۱-۱۰- تمرین
۳۴۰.....	۱۱-۱۱- تفاوت kinematicCloudProperties در DPM و MPPIC

پیوست

۳۴۳.....	۱- فهرست فرمان‌های پرکاربرد در خط فرمان (Terminal) لینوکس
۳۴۵.....	۲- حلگر
۳۵۵.....	۳- متغیرها
۳۵۶.....	۴- شرایط مرزی
۳۵۷.....	۴-۱- شرط مرزی پایه
۳۵۹.....	۴-۲- شرط مرزی ابتدایی و استخراجی
۳۶۱.....	۵- پردازش موازی
۳۶۱.....	۵-۱- پردازشگر با حافظه مشترک
۳۶۲.....	۵-۲- پردازشگر با حافظه‌ی توزیع یافته
۳۶۲.....	۵-۳- پردازش موازی با این فوم
۳۶۲.....	۵-۳-۱- فایل decomposeParDict
۳۶۵.....	۵-۳-۲- اجرای دامنه تقسیم شده
۳۶۶.....	۵-۳-۳- توزیع داده‌ها بین چند دیسک
۳۶۷.....	۵-۳-۴- عملیات پس پردازش مسائل موازی
۳۶۸.....	۶- SWAK4FOAM
۳۶۸.....	۶-۱- FUNKYSETFIELDS

۳۷۰.....	GROOVYBC -۲-۶
۳۷۲.....	SWAKFUNCTIONOBJECTS-۳-۶
۳۷۴.....	۷- مدل های احتراقی
۳۷۶.....	۸- مدل های آشفته گی
۳۷۷.....	۱-۸- RANS روش
۳۷۸.....	۲-۸- شبیه سازی گردابه (Eddy Simulation)

www.ketab.ir