

به نام خدا



# انسیس فلوننت پیشرفته شبه سازی جریان های چند فازی

مؤلفان

دکتر مهدی دادخواه

مهندس مائده نعمتی

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: **انسیسی فلوئنت پیشرفته**

## شبه سازی جریان های چند فازي

◀ مولفان: دکتر مهدی دادخواه

مهندس مائده نعمتی

◀ ناشر: مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرایي: فرناوش عبدالهی

◀ طراح جلد: داریوش فرسایي

◀ نوبت چاپ: دوم

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۸

◀ چاپ و صحافی: درج عقیق

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۱۰۰۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۰۱۲-۶

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران :

[WWW.MFTBOOK.IR](http://WWW.MFTBOOK.IR)

[www.dibagarantehran.com](http://www.dibagarantehran.com)

[www.mftdibagaran.ir](http://www.mftdibagaran.ir)

نشانی تلگرام: @mftbook

سرشناسه: دادخواه، مهدی، ۱۳۶۷-  
عنوان و نام پدیدآور: انسیسی فلوئنت پیشرفته: شبهه  
سازی جریان های چندفازی  
مولفان: مهدی دادخواه، مائده نعمتی.  
مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۳۹۷  
مشخصات ظاهری: ۴۱۲ ص: مصور،  
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۰۱۲-۶  
وضعیت فهرست نویسی: فیبا  
عنوان دیگر: شبهه سازی جریان های چندفازی  
موضوع: جریان چندفازی-شبهه سازی-نرم افزار  
موضوع: multiphase flow-simulation methods-software  
موضوع: سیالات-مکانیک-داده پردازي  
موضوع: fluid mechanics-data processing  
شناسه افزوده: نعمتی، مائده، ۱۳۶۹-  
رده بندی کنگره: ۱۳۹۷ د ۲ ۸ ف/۵/۳۴۵ TA  
رده بندی دیویی: ۶۲۰/۰۰۲۸۵۵۳  
شماره کتابشناسی ملی: ۵۴۰۹۰۸۹

اپلیکیشن دیباگران تهران را از سایت های اینترنتی دیباگران دریافت نمایید.

# فهرست مطالب

|     |  |
|-----|--|
| ۹   | روش‌های مدل‌سازی سیالات چند فازی                             |
| ۱۱  | ۱-۱ مقدمه  |
| ۳۵  | ۲-۱ مراحل شبیه‌سازی در مدل‌های چند فازی                      |
| ۵۹  | مدل چند فازی (VOF) Volume of Fluid                           |
| ۶۳  | ۱-۲ مقدمه  |
| ۶۲  | ۲-۲ معادلات مدل VOF  |
| ۶۲  | ۳-۲ انتخاب روش‌های گسسته‌سازی در مدل کسر حجمی VOF            |
| ۶۸  | ۴-۲ نحوه مدل‌سازی فصل مشترک                                  |
| ۷۰  | ۵-۲ روش‌های گسسته‌سازی معادلات کسر حجمی                      |
| ۷۲  | ۶-۲ محدود کردن کسر حجمی در المان‌ها                          |
| ۷۲  | ۷-۲ گزینه‌های پیشرفته  |
| ۷۳  | ۸-۲ نکات مربوط به حلگر                                       |
| ۷۵  | ۹-۲ کشش سطحی و چسبندگی                                       |
| ۷۷  | ۱۰-۲ حل گر Coupled VOF                                       |
| ۷۸  | ۱۱-۲ گسسته‌سازی گام زمانی                                    |
| ۸۱  | ۱۲-۲ کاربرد Coupled Level Set به همراه مدل چند فازی VOF      |
| ۸۲  | ۱۳-۲ Patch کردن کسر حجمی در مدل VOF                          |
| ۸۴  | ۱۴-۲ مدل‌سازی جریان در کانال‌های باز                         |
| ۱۰۱ | ۱۵-۲ تعریف فازها در مدل چند فازی VOF                         |
| ۱۰۳ | ۱۶-۲ در نظر گرفتن تنش سطحی و اثرات چسبندگی                   |
| ۱۰۷ | ۱۷-۲ طرح گسسته‌سازی با فشرده‌سازی محلی                       |
| ۱۱۰ | ۱۸-۲ تنظیم متغیرهای وابسته به زمان برای طرح صریح در کسر حجمی |
| ۱۱۲ | ۱۹-۲ مدل‌سازی فرآیند ذوب و انجماد                            |

|     |   |
|-----|---|
| ۱۱۳ | ..... مثال ۲۰-۲   |
| ۱۳۱ | ..... مدل چند فازی Mixture  |
| ۱۳۳ | ..... ۱-۳ مقدمه   |
| ۱۳۳ | ..... ۲-۳ معادلات اساسی در مدل Mixture                                      |
| ۱۳۴ | ..... ۳-۳ تعیین فازها در مدل چند فازی Mixture                               |
| ۱۳۸ | ..... ۴-۳ تعریف غلظت در فصل مشترک   |
| ۱۴۱ | ..... ۵-۳ تعیین درگ بین فازها   |
| ۱۴۱ | ..... ۶-۳ تعیین سرعت لغزشی  |
| ۱۴۲ | ..... ۷-۳ مدلسازی سیال چند فازی به روش Mixture به همراه Mixture Drift Force |
| ۱۴۲ | ..... ۸-۳ مدلسازی به روش Mixture همراه با کاونتاسیون                        |
| ۱۴۳ | ..... ۹-۳ نکاتی پیرامون همگرایی مدل کاونتاسیون                              |
| ۱۴۴ | ..... ۱۰-۳ تحلیل جریان چند فازی همگن  |
| ۱۴۴ | ..... ۱۱-۳ در نظر گرفتن اثرات انتقال جرم                                    |
| ۱۵۷ | ..... ۱۲-۳ مثال   |
| ۱۷۳ | ..... مدل چند فازی Eulerian   |
| ۱۷۳ | ..... ۱-۴ مقدمه   |
| ۱۷۵ | ..... ۲-۴ معادلات بقا در مدل Eulerian                                       |
| ۱۷۵ | ..... ۳-۴ نکات کاربردی در مدلسازی سیال چند فازی به روش Eulerian             |
| ۱۷۶ | ..... ۴-۴ تئوری جنبشی جریان دانه‌ای (KTGF)                                  |
| ۱۷۷ | ..... ۵-۴ مدل Euler - Granular  |
| ۲۱۴ | ..... ۶-۴ اعمال مدل فاز گسسته متراکم (DDPM)                                 |
| ۲۱۹ | ..... ۷-۴ اعمال مدل جوشی  |
| ۲۳۳ | ..... ۸-۴ اعمال مدل Multi-Fluid VOF   |
| ۲۳۵ | ..... ۹-۴ مثال  |

۲۵۹..... مدل بخار مرطوب (Wet steam)

۲۵۷..... ۱-۵ مقدمه

۲۶۱..... ۲-۵ فرضیات

۲۶۲..... ۳-۵ محدودیت‌های مدل Wet-Steam

۲۶۲..... ۴-۵ استراتژی حل مدل Wet-Steam

۲۶۳..... مدلسازی Eulerian Wall Film

۲۶۱..... ۱-۶ مقدمه

۲۶۵..... ۲-۶ فیزیک فیلم

۲۶۶..... ۳-۶ فرضیات

۲۶۸..... ۴-۶ مدل پاشش (Splashing)

۲۶۹..... ۵-۶ مدل جدایش (Separation)

۲۶۹..... ۶-۶ مدل جدا کردن قطره از سطح (Stripping)

۲۷۰..... ۷-۶ مدل انتقال گونه و ميعان

۲۷۱..... ۸-۶ تنظیمات مدل Eulerian Wall Film

۲۷۵..... ۹-۶ پردازش نهایی

۲۷۷..... مدل فاز گسسته DPM

۲۷۹..... ۱-۷ مقدمه

۲۸۰..... ۲-۷ مفاهیم کلی

۲۸۲..... ۳-۷ محدودیت‌ها

۲۸۶..... ۴-۷ رویکرد اویلرین - لاگرانژین

۲۸۷..... ۵-۷ قوانین تبادل جرم و حرارت

۳۰۱..... ۶-۷ گام‌های مورد استفاده در مدل DPM

۳۳۱..... ۷-۷ تنظیم شرایط اولیه برای فاز پراکنده

۳۶۸..... ۸-۷ تنظیم شرایط مرزی برای فاز پراکنده

۳۷۲..... ۹-۷ تنظیم خواص فیزیکی مربوط به فاز پراکنده

|     |                                  |      |
|-----|----------------------------------|------|
| ۳۸۳ | ..... راه‌کارهای حل فاز پراکنده  | ۱۰-۷ |
| ۳۸۷ | ..... (Erosion Modelling) فرسایش | ۱۱-۷ |
| ۳۹۸ | ..... پردازش نهایی فاز پراکنده   | ۱۲-۷ |

## خط مشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌های است که بتواند 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 فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی 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 پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

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

### کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس [dibagaran.mft.info](mailto: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  
[bookmarket@mft.info](mailto:bookmarket@mft.info)

## مقدمه نویسنده

در همه جای دنیا، هزینه انجام بسیاری از تست‌های تجربی و آزمایشگاهی بسیار زیاد بوده و در برخی موارد حتی با انجام آزمایش، سنسورهایی وجود ندارد که بتواند تمامی وقایع را ثبت و داده برداری نماید. از اینرو، استفاده از نرم افزارهای حل عددی (CFD) می‌تواند بسیار راهگشا بوده و نه تنها هزینه تست‌ها را کاهش می‌دهد، بلکه هر پدیده‌ای را می‌توان با جزئیات بیشتری بررسی کرد. از جمله انواع نرم افزارهای حل عددی که همگی از ابزارهای CFD محسوب می‌شوند، نرم افزارهای تجاری مثل FLUENT یا CFX و یا نرم افزارهای متن باز مثل OPEN FOAM بوده که از قابلیت‌های زیادی برخوردار هستند و طرفداران زیادی پیدا کرده است. از آنجایی که نویسنده کتاب، سالیان متمادیست با نرم افزارهای مختلف کار کرده و خروجی‌های آنها را با تست‌های تجربی مقایسه کرده است، با قابلیت‌های نرم افزار انسیس فلوئنت و نقاط ضعف آن آشنایی پیدا کرده و در این کتاب سعی کرده تا بخشی از یافته‌های خود را در اختیار خواننده قرار دهد. در تهیه متن کتاب نه تنها از راهنمای نرم افزار کمک گرفته شده، بلکه بسیاری از تجربیات شخصی و نکات مفیدی که در پاورپوینت‌های شرکت انسیس یا وبینارهای این شرکت آمده، بهره گرفته شده است. سعی شده تا فصل‌های کتاب منطبق با انواع مدل‌های شبیه‌سازی جریان‌های چند فازی باشد که در نرم افزار فلوئنت در دسترس است. در ارائه مطالب تلاش شده تا هم تئوری و معادلات حاکم توضیح داده شود و هم منوهای نرم افزار گام به گام همراه با توضیحات آورده شود تا حتی کسانی که قبلاً هیچ گاه از این منوها استفاده نکرده‌اند، بتوانند توضیحات را بهتر درک کنند.

یادگیری هر نرم افزاری مستلزم تمرین و انجام پروژه‌های متعدد می‌باشد. نویسنده این کتاب، به دلیل همکاری با بسیاری از صنایع، اندک تجربه‌ای بدست آورده که سعی کرده در قالب این کتاب به دیگران منتقل کند. در مدت زمانی که مشغول نوشتن این کتاب بودم، دریافتم که یکی از سخت‌ترین کارها انتقال تجربیات به صورت مکتوب و تالیف کتاب است چرا که احتمالاً مخاطبان آن از پژوهشگران و اساتیدی خواهند بود که با دقت و ریزبینی مطالب را ارزیابی خواهند کرد و اگر پیگیری‌های خانم قزلباش و جناب فرسایبی در مجموعه‌ی انتشارات دیباگران نبود، شاید در همان ابتدای کار، از ادامه راه باز می‌ماندم. لذا بر خود لازم می‌دانم از ایشان و خانم عبداللهی، ویراستار محترم کتاب کمال تشکر را داشته باشم. امیدوارم مطالعه‌ی این کتاب برای دانشجویان و صنعتگران مفید باشد و اگر در برخی از بخش‌های کتاب، اشتباه و قصوری وجود دارد، با ارسال ایمیل و پیام‌های خود، ما را در ویرایش آنها کمک کرده و باعث دلگرمی ما برای انتشار جلد‌های بعدی این کتاب شوند.

مهدی دادخواه تهرانی dadkhah@aut.ac.ir