

مدل سازی جریان های آشفته

محمد هادی فتاحی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

مادر برهمند

دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

۱۳۹۶

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد مرودشت

پیش‌گفتار

هرگونه جریانی به چهار صورت میدانی، آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد. مطالعات میدانی و آزمایشگاهی از سایر روش‌ها پرهزینه‌تر می‌باشند. ضمناً مطالعه تحلیلی در اغلب جریان‌ها، چون ساده‌سازی‌های متعدد در معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم، امکان‌پذیر نیست. روش‌های عددی اگرچه دارای دقت به مراتب پایین‌تری نسبت به سایر روش‌هاست اما به دلیل کم‌تر بودن زمان هزینه محاسباتی جهت اغلب جریان‌ها از مطالعه عددی استفاده می‌شود. ضمناً با دقت در انتخاب روش عددی و با در نظر گرفتن اصول گسسته‌سازی، می‌توان خطای روش عددی را تا حد زیادی کاهش داد. بنابراین جریان‌های آشفته^۱ نیز اغلب به صورت عددی مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

جریان‌های آشفته با توجه به نوسانات زمانی مسیر جریان (مانند سرعت موضعی جریان) به وجود می‌آیند. این نوسانات زمانی بر معادلات کلی انتقال-انرژی و غلظت تأثیر گذاشته و معادلات جدیدی به وجود می‌آید. از آن جا که این نوسانات زمانی، کوچک‌مقیاس^۲ اما با فرکانس‌های بزرگ می‌باشند، محاسبات مستقیم این‌گونه نوسانات در محاسبات مهندسی بسیار پرهزینه و سنگین می‌باشد. بدین منظور، به جای محاسبات مستقیم این نوسانات زمانی، معادلات حاکم بر میدان جریان، از نظر زمانی متوسط‌گیری می‌شوند. نتیجه این عمل، محاسبات در مقیاس‌های کوچک زمانی و جلوگیری از پرهزینه شدن محاسبات می‌باشد. این معادلات متوسط‌گیری شده از نظر زمانی^۳ دارای متغیرهای اضافی ناشناخته‌ای می‌شوند که بدین منظور مدل‌های آشفتگی به وجود آمده‌اند.

^۱ Turbulent flows

^۲ Small scale

^۳ Time-averaged

همانند مدل‌های عددی جریان‌های چندفازه، مدل‌های متنوعی برای شبیه‌سازی آشفتگی جریان وجود دارد. ضمناً باید عنوان نمود که هیچ مدل آشفتگی جامعی وجود ندارد که برای همه جریان‌ها و مسائل بتواند جوابگو باشد. اما هر مدل آشفتگی نسبت به سایر مدل‌ها، دارای مزایا و معایبی می‌باشد که شخص استفاده‌کننده از آن‌ها باید با توجه به ماهیت و نوع میدان جریانی که مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و همچنین با توجه به تجربیات گذشته، میزان دقت مورد نیاز در نتایج، قدرت رایانه‌های مورد استفاده و زمان موجود برای انجام محاسبات، بهترین مدل آشفتگی را (برای مدل‌سازی عددی جریان) مورد استفاده قرار دهد.

بدین منظور و با توجه به ماهیت پیچیده جریان‌های آشفته، در این کتاب سعی شده است که گونه‌های مختلف مدل‌های آشفته ارائه گردد. همچنین مثال‌های کاربردی مختلفی در قالب فصل هشتم، بیان خواهند شد.

در ادامه باید از داوران محترم این کتاب بابت ویراستاری علمی، تشکر و قدردانی نمود. بدون شک، بدون کمک و مساعدت‌های نامبرداران، تهیه این کتاب میسر نمی‌گردید. ضمناً از دوستان و همکاران عزیزی که هریک به نوعی در تهیه و تدوین این کتاب یاری رسانیده‌اند (به‌ویژه سرکار خانم مریم کشاورزی بابت تایپ و غلط‌گیری متون کتاب) و نیز از ریاست و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تشکر و قدردانی می‌گردد.

در پایان لازم به ذکر است که مطالب ارائه شده، خالی از ایراد و اشکال نمی‌باشد و بنابراین تمنای نویسندگان از خوانندگان محترم و گرامی، ارسال این ایرادات و اشکالات و نیز نظرات به پست الکترونیکی fattahi.mh@gmail.com و na'ler_barahmand@yahoo.com است.

دکتر و شهادهای فتاحی

دکتر نادر برهمند

فهرست مطالب

۱۵	۱ / معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان جریان
۱۵	۱-۱ مقدمه
۱۵	۲-۱ معادلات حاکم بر میدان جریان
۲۱	۳-۱ بررسی جریان نزدیک دیواره و مفهوم توابع دیوار
۲۲	۴-۱ خلاصه
۲۵	۲ / جریان آشفته و کلیات مدل سازی آن
۲۵	۱-۲ مقدمه
۲۶	۲-۲ خلاصه ای از پیشینه تحقیقات مرتبط با مدل سازی آشفتگی
۳۰	۳-۲ فیزیک آشفتگی
۳۳	۴-۲ لزجت آشفتگی
۳۵	۵-۲ دیدگاه های عددی موجود برای مدل سازی جریان های آشفته
۳۶	۶-۲ مدل سازی آشفتگی
۳۷	۷-۲ مروری بر روش های RANS
۳۹	۸-۲ روابط شامل لزجت گردابه ای
۴۱	۹-۲ رابطه اساسی بوسینسک لزجت گردابه ای
۴۲	۱۰-۲ مدل های لزجت گردابه ای
۴۳	۱۱-۲ کلیاتی بر انواع مدل های آشفتگی مورد بحث در این کتاب
۴۶	۱۲-۲ انتخاب مدل آشفتگی مناسب

- ۴۶ ۱-۱۲-۲ روش متوسط‌گیری رینولدزی مدل DES در مقابل روش LES
- ۴۸ ۲-۱۲-۲ روش متوسط‌گیری رینولدزی
- ۴۹ ۳-۱۲-۲ روش بوسینسک در مقابل مدل‌های انتقال تنش رینولدزی
- ۵۱ ۴-۱۲-۲ زمان و هزینه محاسباتی
- ۵۲ ۱۳-۲ خلاصه

۳ / مدل‌های صفر و یک معادله‌ای آشفته‌گی

- ۵۵ ۱-۳ مدل‌های صفر و یک معادله‌ای (مدل‌های طول اختلاطی)
- ۵۵ ۲-۳ مدل‌های صفر و یک معادله‌ای (مدل‌های طول اختلاطی)
- ۵۶ ۳-۳ مدل طول اختلاطی پراتل
- ۵۹ ۴-۳ کاربرد مدل طول اختلاطی پراتل در جریان‌های برشی آزاد
- ۶۱ ۵-۳ کاربرد مدل طول اختلاطی پراتل در جریان‌های محصور دیواره‌ای
- ۶۲ ۶-۳ مدل وان-دریست
- ۶۳ ۷-۳ مدل کبکی-اسمیت (۱۹۷۴)
- ۶۴ ۸-۳ مدل بالدوین-لوماکس (۱۹۷۸)
- ۶۷ ۹-۳ مدل‌های یک معادله‌ای
- ۶۸ ۱۰-۳ حل تحلیلی معادله انتقال انرژی جنبشی
- ۷۱ ۱۱-۳ معادله مدل‌سازی شده انرژی جنبشی آشفته‌گی
- ۷۵ ۱۲-۳ مدل اسپالارت آلماراس
- ۷۵ ۱-۱۲-۳ کلیات
- ۷۷ ۲-۱۲-۳ مدل‌سازی و تعیین عبارت تولید لزجت آشفته‌گی
- ۷۹ ۳-۱۲-۳ مدل‌سازی و تعیین عبارت استهلاك و اضمحلال آشفته‌گی
- ۷۹ ۴-۱۲-۳ ثابت‌های مدل
- ۸۰ ۵-۱۲-۳ شرایط مرزی دیواره
- ۸۰ ۶-۱۲-۳ مدل‌سازی انتقال جرم و حرارت
- ۸۱ ۱۳-۳ خلاصه

۸۳	۴ / انواع مدل‌های دومعادله‌ای آشفته $K - \varepsilon$
۸۳	۱-۴ مقدمه
۸۳	۲-۴ مدل‌های دومعادله‌ای
۸۴	۳-۴ مدل‌های $K - \varepsilon$
۸۷	۴-۴ مدل $K - \varepsilon$ استاندارد
۹۰	۱-۴-۴ رابطه برانتل-کولموگروف
۹۱	۵-۴ مدل توسعه یافته $K - \varepsilon$
۹۲	۶-۴ مدل $K - \varepsilon$ از نوع استاندارد اصلاح شده برای شناوری
۹۶	۸-۴ مدل $K - \varepsilon$ از نوع RNG
۱۰۰	۹-۴ مدل $K - \varepsilon$ از نوع $\kappa - \varepsilon$ تق‌ی‌ن‌بر
۱۰۳	۱۰-۴ مدل $K - \varepsilon$ از نوع $\kappa - \varepsilon$ لانه‌ای
۱۰۴	۱۱-۴ مدل $K - \varepsilon$ لاندرو-رما
۱۰۵	۱۲-۴ خلاصه
۱۰۷	۵ / انواع دیگر مدل‌های دومعادله‌ای آشفته
۱۰۷	۱-۵ مقدمه
۱۰۷	۲-۵ مدل‌های $K - \omega$
۱۰۸	۱-۲-۵ مدل $K - \omega$ استاندارد
۱۱۱	۲-۲-۵ مدل $K - \omega$ از نوع SST
۱۱۴	۳-۵ مدل $f - \overline{\nu^2}$
۱۱۸	۴-۵ خلاصه
۱۲۰	۶ / مدل‌های آشفته تنش رینولدزی (RSM)
۱۲۰	۱-۶ مقدمه
۱۲۰	۲-۶ مدل تنش رینولدزی (RSM)
۱۲۳	۱-۲-۶ معادلات انتقال تنش رینولدز

۱۲۴	۲-۲-۶ مدل‌سازی عبارت پخشیدگی آشفتگی
۱۲۵	۳-۲-۶ مدل‌سازی عبارت فشار- کرنش
۱۳۱	۴-۲-۶ شرایط مرزی دیواره برای مدل تنش- امگا با اعداد رینولدز کوچک
۱۳۱	۵-۲-۶ اثر شناوری بر آشفتگی کلیه مدل‌های RSM
۱۳۲	۶-۲-۶ مدل‌سازی انرژی جنبشی آشفتگی کلیه مدل‌های RSM
۱۳۳	۷-۲-۶ مدل‌سازی نرخ پراکنش
۱۳۴	۸-۲-۶ مدل‌سازی لزجت آشفتگی
۱۳۴	۹-۲-۶ شرایط مرزی دیواره
۱۳۵	۱۰-۲-۶ مدل انتقال جرم و حرارت به روش هدایت
۱۳۶	۳-۶ خلاصه

۱۳۷ / ۷ مدل‌های آشفتگی LES و DES

۱۳۷	۱-۷ مقدمه
۱۳۷	۲-۷ مدل شبیه‌سازی گردابه‌های کسسته (DES)
۱۴۰	۳-۷ مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES)
۱۴۰	۱-۳-۷ کلیات مدل LES
۱۴۱	۲-۳-۷ معادلات فیلتر شده ناویر-استوکس
۱۴۳	۳-۳-۷ مدل‌های زیرشبکه‌ای-مقیاس
۱۴۸	۴-۷ خلاصه

۱۴۹ / ۸ نمونه‌هایی از کاربرد انواع مدل‌های آشفتگی

۱۴۹	۱-۸ مقدمه
۱۵۰	۲-۸ کاربرد انواع مدل‌های آشفتگی در جریان چگال
۱۵۰	۱-۲-۸ تعریف جریان چگال
۱۵۰	۲-۲-۸ آزمایش‌های گارسیا
۱۵۳	۳-۲-۸ تحلیل مدل‌های آشفتگی برای شبیه‌سازی مناسب عددی

۱۵۴	۸-۲-۳-۱- توزیع قائم سرعت موضعی در قسمت بدنه جریان چگال
۱۵۴	۸-۲-۳-۲- توزیع قائم غلظت حجمی موضعی در قسمت بدنه جریان چگال
۱۵۷	۸-۲-۳-۳- ضخامت جریان چگال
۱۶۱	۸-۳-۱- مشخصات نمونه آزمایشگاهی
۱۶۲	۸-۳-۲- نتایج کاربرد انواع مدل‌های آشفته‌گی
۱۶۳	۸-۴- خلاصه

۹ / مروری بر روش‌های عددی گسسته‌سازی معادلات

۱۶۵	۹-۱- مقدمه
۱۶۵	۹-۲- شکل کلی معادلات حاکم
۱۶۶	۹-۳- روش‌های حل معادلات در سیل
۱۶۶	۹-۳-۱- روش‌های طیفی
۱۶۷	۹-۳-۲- روش تفاضل محدود
۱۶۷	۹-۳-۳- روش اجزا محدود
۱۶۸	۹-۳-۴- روش حجم محدود (احجام محدود)
۱۷۱	۹-۳-۴-۱- طرح اختلاف مرکزی
۱۷۲	۹-۳-۴-۲- طرح اختلاف بالادست
۱۷۵	۹-۳-۴-۳- طرح اختلاف پیوندی
۱۷۶	۹-۳-۴-۴- طرح توان-پیرو
۱۷۷	۹-۳-۵- الگوریتم کلی حل
۱۷۷	۹-۳-۶- الگوریتم SIMPLE
۱۸۴	۹-۴- خلاصه

۱۰ / مروری بر چند مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان‌های آشفته

۱۸۵	۱۰-۱- مقدمه
۱۸۶	۱۰-۲- نرم‌افزار فلوئنت (موسوی ۱۳۹۲، عباسی ۱۳۹۲ و اخوان ۱۳۹۶)

- ۱۸۶ ۱-۲-۱۰ معرفی و ویژگی‌های نرم‌افزار
- ۱۸۸ ۲-۲-۱۰ مراحل حل یک مساله دینامیک سیالات محاسباتی در نرم‌افزار فلوئنت
- ۱۹۳ ۳-۲-۱۰ مدل‌های چند فازي مورد استفاده در نرم‌افزار فلوئنت
- ۱۹۴ ۴-۲-۱۰ مش‌بندی
- ۱۹۵ ۵-۲-۱۰ شرایط مرزی در فلوئنت
- ۱۹۸ ۶-۲-۱۰ مثال حل شده با مدل عددی فلوئنت
- ۲۱۰ ۳-۱۰ نرم‌افزار ANSYS CFX (جافل ۱۳۸۹)
- ۲۱۲ ۱-۱۰ مدل SSIM (کوهپیری ۱۳۹۱ و سلیمانی اندرور ۱۳۹۱)
- ۲۱۳ ۱-۴-۱۰ حل مساله در نرم‌افزار SSIM
- ۲۱۴ ۲-۴-۱۰ شبکه ورود استفاده در نرم‌افزار SSIM
- ۲۱۶ ۳-۴-۱۰ ساخت شبکه ساختار در مدل SSIM2
- ۲۱۷ ۴-۴-۱۰ نمودار روند حل عددی در مدل SSIM
- ۲۱۹ ۵-۴-۱۰ فایل‌های نرم‌افزار SSIM
- ۲۲۱ ۵-۱۰ مدل عددی Flow-3D (مختار ۱۳۸۸ و افسری ۱۳۹۳)
- ۲۲۳ ۱-۵-۱۰ مدل‌های آشفتگی در نرم‌افزار Flow-3D
- ۲۲۴ ۲-۵-۱۰ ورود اطلاعات به نرم‌افزار
- ۲۳۲ ۶-۱۰ خلاصه فصل

۲۳۵	- / واژه‌نامه
۲۴۹	- / فهرست علائم
۲۵۳	- / کتاب‌نامه
