

مکانیک سیالات

(پیشرفته)

تألیف:

دکتر قاسم حیدری نژاد

دانشیار بخش مهندسی مکانیک

دانشگاه تربیت مدرس

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران

حیدری نژاد، قاسم، ۱۳۳۰-

مکانیک سیالات (پیشرفته) / تألیف قاسم حیدری نژاد. — تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه تهران)، ۱۳۸۴.

ISBN 964-8171-21-1

۲۳۶ ص.

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیا

کتابنامه: ص ۲۱۵-۲۲۶.

۱. سیالات -- مکانیک -- راهنمای آموزشی (عالی). ۲. سیالات -- مکانیک -- مسائل،

تمرینها و غیره (عالی). الف. سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه تهران). ب. عنوان

۶۲۰/۱۰۶۰۷

م ۹ ح ۳۵۷ / TA

م ۸۴ - ۱۷۸۹۶

کتابخانه ملی ایران



واحد تهران

نام کتاب: مکانیک سیالات (پیشرفته)

مؤلف: دکتر قاسم حیدری نژاد

ناشر: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران

ویراستار علمی: دکتر منوچهر راد

ویراستار ادبی: امیر عشیری

طراحی جلد: مهندس لیلا فرهنگ

ناظر چاپ: غلامرضا نسرانی

شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۸۴

قیمت: ۲۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۶۴-۸۱۷۱-۲۱-۱

ISBN: 964-8171-21-1

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپخانه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

نشانی: تهران- صندوق پستی ۱۸۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۶۴۹۰۳۲۹-۶۴۱۸۴۹۹-۶۹۵۴۳۶۸ تلفکس: ۶۴۹۰۳۲۹

تلفن مرکز بخش: ۶۴۹۵۶۹۹-۶۱۱۱۳۳۵۴

پیشگفتار

مکانیک سیالات شاخه‌ای از مهندسی است که در دهه‌های اخیر کمتر دچار نوآوری‌های جذبی بوده است. ارایه یک کتاب مکانیک سیالات جدید به معنای ارایه کلیات مشترک با دیگران، اما از دیدگاهی متفاوت است. در این کتاب، این تفاوت بر مبنای تجربه، استنباط شخصی و تحقیقات نویسنده می‌باشد. مطالب این کتاب ثمره آموخته‌های مؤلف طی دوران تحصیلات خود در انستیتو تکنولوژی ماساچوست¹ (MIT)، تجارب مبتنی بر تدریس دروسی، مانند مکانیک سیالات (پیشرفته)، توربولانس، لایه مرزی، مکانیک سیالات محاسباتی، موتورهای احتراق داخلی، مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی و نیز تحقیقات انجام شده بوده است. دیدگاه استادان برجسته‌ای چون شیپرو، تونگ، پترا، سونین، روزنها، قونیم، هیوود² و ... در کتاب کاملاً مشهود بوده و مسائل ارایه شده توسط ایشان در کتاب به وفور دیده می‌شود. نگارنده همچنین از کتابهای تألیف شده، نتایج پایان نامه‌ها و مقالات چاپ شده خود نیز استفاده کرده است.

در این کتاب، تأکید اصلی، بر مدل کردن مسایل مورد مطالعه و ساده‌سازی آنها با استفاده از مقایسه مرتبه متغیرها می‌باشد. بعضی از مسایل ارایه شده ممکن است دارای بیش از یک راه حل بوده و جواب یگانه‌ای برای آنها وجود نداشته باشد. اگر فرضیات بیشتری در نظر گرفته شود مسأله به سمت کاربرد خاصی متمایل می‌شود. تلاش نگارنده بر این بوده است که با حداقل فرضیات ممکن، از جوابهای غیر فیزیکی اجتناب شده و برآورد معقولی از مقادیر مورد نظر صورت گیرد. ترتیب مطالب و تأکید روی آنها با توجه به کاربرد آن مطالب در تحقیقات روزمره در دوره تحصیلات تکمیلی می‌باشد.

در فصل اول، کلیات و در فصل دوم، معادلات حاکم از دو دیدگاه دیفرانسیلی و انتگرالی

1. Massachusetts Institute of Technology

2. A.H. Shapiro, T.Y. Toong, A.T. Pattera, A.N. Sonin, W.M. Rosenhow, A.F. Ghoniem, J.B. Heywood

ارایه می‌شود. در فصل سوم، اعداد بدون بعد مهم استخراج و نقش آنها در انواع جریانهای شناخته شده تشریح می‌گردد. در فصل چهارم، با استفاده از ابزارهای سینماتیکی رفتار سیالات بررسی و استخراج نتیجه‌گیری‌های دینامیکی ممکن می‌گردد. در فصل پنجم، جریان سیال غیرلزج به عنوان قدیمی‌ترین مدل شناخته شده سیالات ارایه و کاربرد آن برای جریانهای ساده‌تر تشریح می‌شود. در فصل ششم، تبدیل شوارتز- کریستوفل به عنوان ابزار مهمی در نگاشت جریانهای پیچیده و تبدیل آنها به جریانهای ساده‌تر ارایه می‌شود. در فصل هفتم، لایه مرزی به عنوان قسمت مهمی از جریان سیال در نزدیکی دیواره جامد ارایه می‌گردد. در فصل هشتم، مقدمه‌ای بر جریان مغشوش سیال و روشهای متداول به اختصار ارایه می‌شود.

امروزه، نرم افزارهای فراوان یا ابزارهای اندازه‌گیری دقیقی برای بررسی رفتار سیالات در دسترس است، اما آگاهی از فیزیک حاکم بر مسأله در دست بررسی و داشتن احساس درست از صحت نتایج عددی یا آزمایشگاهی حاصل، مستلزم دارا بودن دانش کافی از سازوکار حاکم بر رفتار سیالات است که هدف اصلی این کتاب است.

بیشتر مسایل حل شده یا ارایه شده در کتاب، طی دوران تحصیل نویسنده در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) جمع‌آوری شده و در امتحانات متعدد در دانشگاه تربیت مدرس با ذکر منبع مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

از جناب آقای دکتر منوچهر راد استاد دانشگاه صنعتی شریف که ویراستاری علمی را به عهده گرفتند، جناب آقای امیر عشیری ویراستار با سابقه ادبی و نیز از پسرم محمد که با پشتکار فراوان در رسم شکلها و بازخوانی و اصلاح متن کتاب اینجانب را یاری نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

چون مطالب ارایه شده استنباط شخصی اینجانب می‌باشد، لذا عذر هرگونه تقصیر را پذیرفته و از دانشجویان عزیز، استادان گرامی و دیگر خوانندگان محترم تقاضای ارشاد و اصلاح مطالب را دارد.

تهران ۱۳۸۴

قاسم حیدری نژاد

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
مقدمه	۳
۱-۱ مدل و نمونه اصلی	۳
۱-۲ سیال نیوتنی	۵
۱-۳ شرط عدم لغزش	۵
۱-۴ لزجت	۶
۱-۵ سیال غیریوتنی	۷
۱-۶ تراکم پذیری	۸
۱-۷ کشش سطحی	۹
فصل دوم: معادلات بنیادین	۱۱
مقدمه	۱۳
۲-۱ پیوستگی سیال	۱۴
۲-۲ قوانین فیزیکی اصلی	۱۴
۲-۳ حجم مادی و حجم کنترل	۱۶
۲-۴ تراکم پذیری $\nabla \cdot \mathbf{v}$	۱۹
۲-۵ قانون بقای جرم	۱۹
۲-۶ قانون بقای مومنت خطی	۲۰
۲-۷ قانون بقای انرژی	۲۲
۲-۸ قانون دوم ترمودینامیک	۲۴
۲-۹ جمع‌بندی معادلات حاصل	۲۴
۲-۱۰ سیال نیوتنی	۲۷

۲-۱۱	شرایط مرزی	۳۴
۲-۱۲	قوانین بقاء در شکل انتگرالی	۴۳
فصل سوم:	تحلیل بر اساس مرتبه متغیرها و بدون بعد نمودن معادلات ناویر-استوکس	۶۳
مقدمه		۶۵
۳-۱	تحلیل بر اساس مرتبه متغیرها	۶۵
۳-۲	بدون بعد کردن معادله بقای جرم	۷۳
۳-۳	بدون بعد کردن معادله بقای مومتم خطی	۷۴
فصل چهارم:	سینماتیک جریان	۸۵
مقدمه		۸۷
۴-۱	گردش بردار سرعت	۸۹
۴-۲	تئوری انتقال ورتی سیتی هلمهولتز	۹۲
۴-۳	معادله انتقال ورتی سیتی برای سیال تراکم پذیر	۹۳
۴-۴	معادلات حاکم بر سیال ایده آل در مختصات خط جریان	۹۴
۴-۵	استفاده از تابع جریان	۹۷
فصل پنجم:	جریان پتانسیل	۱۰۷
مقدمه		۱۰۹
۵-۱	تفکیک میدان سرعت	۱۰۹
۵-۲	میدان جریان پتانسیل	۱۱۱
۵-۳	چشمه و چاه	۱۱۵
۵-۴	گردابه	۱۱۶
۵-۵	دابلت	۱۱۷
۵-۶	ترکیب اجزا	۱۱۹
فصل ششم:	تبدیل شوارتز-کریستوفل	۱۳۱
مقدمه		۱۳۳
۶-۱	تئوری	۱۳۵
۶-۲	مثالها	۱۳۵
۶-۳	کاربرد تبدیل شوارتز-کریستوفل	۱۴۰
فصل هفتم:	لایه مرزی	۱۴۳
مقدمه		۱۴۴
۷-۱	معادلات حاکم	۱۴۶

۷-۲	حل بلازیوس	۱۴۹
۷-۳	نتایج حاصل از حل بلازیوس	۱۵۲
۷-۴	دیگر مقیاسهای طولی در لایه مرزی	۱۵۴
۷-۵	روش انتگرالی	۱۵۶
۷-۶	روش انتگرالی برای لایه مرزی با سرعت متغیر جریان آزاد	۱۵۸
۷-۷	حل تشابهی فالکنر-اسکن	۱۶۰
۷-۸	لایه مرزی مغشوش	۱۶۳
	فصل هشتم: حرکت اغتشاشی سیالات	۱۷۵
	مقدمه	۱۷۷
۸-۱	مظاهر توربولانس	۱۷۸
۸-۲	مقیاسهای توربولانس	۱۷۸
۸-۳	روش متوسط گیری	۱۸۱
۸-۴	معادلات حاکم بر مبنای مقادیر متوسط زمانی	۱۸۵
۸-۵	تقریب لایه مرزی	۱۸۷
۸-۶	لزجت اغتشاشی	۱۹۲
۸-۷	تنش رینولدزی	۱۹۶
۸-۸	روش LES	۱۹۶
۸-۹	شبیه سازی مستقیم عددی	۱۹۸
	مراجع	۲۰۳
	ضمیمه ها	۲۰۵
	ضمیمه ۱ - حل تشابهی	۲۰۷
	ضمیمه ۲ - معادلات حاکم در مختصات قائم، استوانه ای و کروی	۲۱۱
	واژه نامه فارسی به انگلیسی	۲۱۵
	فهرست نمایه	۲۲۱