

مکانیک سیالات

مبانی و کاربردها

جلد اول

ویرایش بین‌المللی

تألیف:

یونس. ای. سنجل

استاد برجسته مهندسی مکانیک - دانشگاه نوادا، رنو

جان. ام. سیمبالا

استاد مهندسی مکانیک - دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا - دانشگاه پارک

ترجمه:

دکتر احمد رضا عظیمیان

استاد مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی اصفهان

داود طفرایی

استادیار مهندسی مکانیک

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر



دانشگاه صنعتی اصفهان

مرکز نشر

گروه فنی و مهندسی ۵۷

شماره کتاب ۱۲۶

مکانیک سیالات - مبانی و کاربردها (ویرایش بین‌المللی) (جلد اول)

تألیف	یونس. ای سنجل، جان. ام سیمبالا
مترجم	دکتر احمد رضا عظیمیان، دکتر داود طغرای
مدیر تولید	دکتر محمد رضا کوشش
حروف چین و صفحه‌آرا	زحل شیروانی
ویراستار	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
طراح جلد	آیدا رضائی
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ سوم	پاییز ۱۳۹۲
شابک دوره	۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۴۷-۷
شابک جلد اول	۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۴۸-۴
شمارگان	۲۰۰۰ جلد
قیمت	۲۸۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	سنجل، یونس ا.
عنوان و نام پدید آور	Cengel, Yunus A
مشخصات نشر	مکانیک سیالات - مبانی کاربردها/تألیف یونس. ای سنجل، جان. ام سیمبالا: ترجمه احمد رضا عظیمیان، داود طغرای
مشخصات ظاهری	اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۸۸.
فروست	ج. ۲: مصور (رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر؛ ۱۲۶؛ ۱۲۷.. گروه فنی و مهندسی؛ ۵۷؛ ۵۸.
وضعیت فهرست نویسی	دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۴۷-۷ ج. ۱: ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۴۸-۴ ج. ۱ (چاپ دوم)
یادداشت	فایا
یادداشت	عنوان اصلی: Fluid mechanics: fundamentals and applications, 2nd ed, c2010.
یادداشت	ج. ۱ (چاپ دوم: ۱۳۸۹) (فیپا).
یادداشت	ج. ۲ (چاپ اول: ۱۳۸۹) (فیپا).
یادداشت	ج. ۲ (چاپ دوم: ۱۳۸۹) (فیپا)
یادداشت	واژه‌نامه
موضوع	سیالات - دینامیک
شناسه افزوده	سیمبالا، جان ام.
شناسه افزوده	Cimbala, John M
شناسه افزوده	عظیمیان، احمد رضا، ۱۳۴۰- مترجم
شناسه افزوده	طغرای، داود، ۱۳۶۱- مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز نشر
رده‌بندی کنگره	۱۳۸۸ م ۹۷/ج ۳۵۷/TA
رده‌بندی دیویی	۶۲۰/۱۰۶
شماره کتابشناسی ملی	۱۷۸۲۱۶۳

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.
اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
تلفن: ۰۳۱۱-۳۹۱۲۵۰۹ تا ۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱۱) دورنگار: ۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱۱)

در مورد مؤلفین

یونس ای. سنجل پروفیسور بازنشسته مهندسی مکانیک در دانشگاه نوادا، رنو می‌باشد، وی کارشناسی مهندسی مکانیک را در دانشگاه صنعتی استانبول و کارشناسی ارشد و دکترای خود را از دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی دریافت کرد. زمینه‌های تحقیقاتی وی انرژی‌های تجدیدپذیر، نمک‌زدایی، تحلیل اکسزری، افزایش انتقال حرارت، انتقال حرارت تشعشعی، و بقای انرژی می‌باشد. او از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ به عنوان مدیر مرکز ارزیابی صنعتی (IAC) در دانشگاه نوادا، رنو، مشغول به کار بوده است. او تیم‌های دانشجویان مهندسی برای آزمون‌های متعددی را هدایت کرده است و این تیم‌ها را برای بررسی بقای انرژی، به حداقل رساندن اتلافات و افزایش کارایی آماده کرده است. دکتر سنجل نویسنده مشترک کتاب برگزیده، «ترمودینامیک: یک دیدگاه مهندسی، ویرایش چهارم (۲۰۰۲)» است که توسط انتشارات مک گرو هیل منتشر شده است. او همچنین نویسنده کتب «انتقال حرارت: یک دیدگاه عملی، ویرایش دوم (۲۰۰۳)» و نویسنده مشترک کتاب «اصول علوم گرمایی - سیال، ویرایش دوم (۲۰۰۵)»، است که هر دو کتاب توسط انتشارات مک گرو هیل منتشر شده‌اند. تعدادی از کتاب‌های او به زبان‌های چینی، ژاپنی، کره‌ای، اسپانیایی، ترکی، ایتالیایی و یونانی ترجمه شده‌اند.

دکتر سنجل چندین جایزه مدرس برجسته را دریافت کرده است و او جایزه نویسنده برجسته را از مؤسسه ASEE Merian/wily به سبب برتری در تألیف، در سال ۱۹۹۲ و ۲۰۰۲ دریافت کرده است.

دکتر سنجل مهندس حرفه‌ای رسمی در ایالت نوادا و عضو جامعه مهندسين مکانیک آمریکا (ASME) و انجمن آمریکایی آموزش مهندسی (ASEE) می‌باشد.

جان ام. سیمبالا پروفیسور مهندسی مکانیک، در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا دانشگاه پارک است. او دوره کارشناسی مهندسی هوافضا را از ایالت پن و کارشناسی ارشد خود را در هوانوردی از انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا (کالتک) دریافت کرده است. او در سال ۱۹۸۴ دکترای خود را در زمینه هوانوردی از کالتک، زیر نظر پروفیسور آناتول روشکو، (کسی که برای همیشه سپاسگذار او خواهد بود) دریافت کرد. زمینه‌های تحقیقاتی او شامل مکانیک سیالات و

انتقال حرارت محاسباتی و آزمایشگاهی، اغتشاش، مدلسازی اغتشاش در توربوماشین‌ها، کیفیت هوای درونی و کنترل آلودگی هوا می‌باشند. او در طی سال‌های دانشگاهی ۱۹۹۳-۱۹۹۴ یک فرصت مطالعاتی از دانشگاه دریافت و در مرکز تحقیقاتی تشعشع ناسا NASA کار کرد و دانش خود را در زمینه دینامیک سیال محاسباتی (CFD) و مدلسازی افزایش داد.

دکتر سیمبالا نویسنده مشترک کتاب «مهندسی کیفی هوای خانگی: سلامت محیط و کنترل آلودگی‌های داخلی (۲۰۰۳)» است که به وسیله انتشارات مارسل - دکر منتشر شده است. او همچنین در بخش‌های از سایر کتاب‌ها مشارکت کرده است و نویسنده یا نویسنده مشترک تعداد زیادی مقاله‌های ژورنالی و کنفرانسی می‌باشد. اطلاعات بیشتر را در سایت www.mne.psu.edu/Cimbala می‌توان یافت.

پروفسور سیمبالا چندین جایزه مدرس برگزیده را دریافت کرده است و نوشته‌های کتاب او را به عنوان علاقه‌وافر او به تدریس مدنظر قرار می‌دهند. او عضو مؤسسه آمریکایی هوانوردی و کیهان نوردی (AIAA)، جامعه آمریکایی مهندسين مکانیک (ASME)، جامعه آمریکایی آموزش مهندسی (APS) است.

پیشگفتار مؤلفین

مکانیک سیالات یک موضوع مهیج و جذاب با کاربردهای عملی نامحدود است که دامنه این کاربردها از سیستم‌های بیولوژیکی میکروسکوپی تا اتومبیل‌ها، هواپیماها و پیش دانش فضاپیماها می‌باشد. با این حال مکانیک سیالات از نظر تاریخی یکی از موضوعات مجادله برانگیز برای دانشجویان مقطع لیسانس می‌باشد. برخلاف دانشجویان جدیدالورود و موضوعات مربوط به دانشجویان سال دوم همانند فیزیک، شیمی و مکانیک مهندسی، که دانشجویان اغلب معادلات را آموخته و سپس در ماشین حساب خود روابط را وارد می‌کنند، تحلیل صحیح یک مسأله در مکانیک سیالات به ملزومات بیشتری نیاز دارد. اغلب اوقات، دانشجویان در ابتدا باید مسأله را ارزیابی کرده، فرضیات و/یا تقریب‌های لازم را انجام دهند و قبل از استفاده از ماشین‌های حساب خود، معادلات حاصله را حل کنند. در مکانیک سیالات ادر حل اکثر مسائل علاوه بر داشتن دانش مربوطه به درک فیزیکی و تجربه نیاز هست. امید است که این کتاب با ارائه توضیحات دقیق مفاهیم و استفاده از مثال‌های عملی متعدد، نمودارها، شکل‌ها و عکس‌ها، فاصله میان دانش و کار مناسب آن دانش را برطرف سازد، مکانیک سیالات موضوع توسعه یافته‌ای است. معادلات و تقریب‌های مربوطه در آن به خوبی بیان شده‌اند و در کتاب‌های مکانیک سیالات مقدماتی متعددی آمده‌اند. کتاب‌ها برحسب نحوه اصول بیان شده از یکدیگر متمایز شده‌اند. یک کتاب مکانیک سیالات موجود باید با یک روند رو به جلو با ساختن هر فصل براساس اصول اساسی ارائه شده در فصول قبلی، اصول مربوطه را باید از ساده به مشکل ارائه کند. با این روش، حتی جنبه‌های مجادله برانگیز سنتی مکانیک سیالات را به صورت مؤثر می‌توان فرا گرفت.

مکانیک سیالات ذاتاً یک موضوع مبتنی بر مشاهده است و دانشجویان عمدتاً با شبیه‌سازی مشاهده‌ای آن را سریع‌تر می‌آموزند. بنابراین، ضروری است که یک کتاب مکانیک سیالات خوب دارای تصاویر با کیفیت، عکس‌ها و ابزارهای مشاهده‌ای مناسب باشد تا به توضیح مفاهیم و معنای عبارات ریاضی کمک کند.

اهداف

این کتاب برای استفاده در اولین درس مکانیک سیالات مقدماتی برای دانشجویان مهندسی دوره کارشناسی در سال سوم دانشکده یا بالاتر در نظر گرفته شده است. فرض بر این است که

دانشجویان پیش‌زمینه کافی در ریاضیات، فیزیک، مکانیک مهندسی و ترمودینامیک دارند. اهداف این کتاب به صورت زیر هستند:

- اصول اساسی و معادلات مکانیک سیالات را پوشش می‌دهد.
 - مثال‌های مهندسی متعدد و گوناگون واقعی را ارائه می‌دهد تا دانشجویان احساس کنند که مکانیک سیالات در مهندسی عملی چگونه اعمال می‌شود.
 - با تأکید بر فیزیک مسأله و با به کار بردن شکل‌های جذاب و تصویری برای تقویت فیزیک مسأله، یک فهم شهودی از مکانیک سیالات فراهم می‌شود.
- کتاب شامل مباحث کافی است تا به مدرسین این انعطاف را بدهد تا بتوانند بر موضوعات مورد نظر تأکید کنند. برای مثال، اساتید مهندسی هوانوردی و هوافضا ممکن است جریان پتانسیل، پسا و برآ، جریان تراکم‌پذیر، توربوماشین و CFD را مورد تأکید قرار دهند، در حالی که مدرسین مهندسی عمران ممکن است بر جریان‌های درون لوله‌ها و جریان‌های درون کانال‌های باز تأکید کنند. کتاب با حوزه برد وسیعی نوشته شده و از آن می‌توان در تدریس دو درس مکانیک سیالات متوالی استفاده کرد.

فلسفه و هدف

ما همانند کتاب‌های «ترمودینامیک، انتقال حرارت و اصول علوم گرمایی - سیال» که همگی به به وسیله مک - گروهیل منتشر شده‌اند، فلسفه یکسانی را دنبال می‌کنیم، یعنی هدف ما عرضه یک کتاب مهندسی است که،

- در یک روند ساده اما دقیق به صورت مستقیم با ذهن‌های مهندسین آینده ارتباط برقرار کند.
- دانشجویان را به درک شفاف و کسب اصول اساسی مکانیک سیالات هدایت کند.
- به جای این که به عنوان یک حل‌المسائل مورد استفاده قرار گیرد با علاقه و اشتیاق توسط دانشجویان خوانده شود.

فلسفه ما این است که بهترین راه یادگیری، تمرین است. بنابراین، در سرتاسر کتاب برای تقویت مفاهیمی که قبلاً ارائه شده است تلاش خاصی صورت گرفته است. برای مثال، بسیاری از مسائل نمونه تشریح شده و مسائل انتهای هر فصل مسائل مفهومی هستند و دانشجو را مجبور می‌کنند تا مفاهیم آموخته شده قبلی را مرور کنند. در سرتاسر کتاب، مثال‌های ایجاد شده به وسیله دینامیک سیال محاسباتی (CFD) را نشان داده و یک فصل مقدماتی هم در مورد CFD آورده‌ایم. هدف ما آموزش جزئیات الگوریتم‌های عددی مرتبط با CFD نمی‌باشد. این موضوع به طور مناسب در یک دوره جداگانه، معمولاً در سطح کارشناس ارشد ارائه می‌شود. بلکه، هدف ما این است که دانشجویان دوره کارشناسی را با

توانایی‌ها و محدودیت‌های CFD به عنوان یک ابزار مهندسی آشنا کنیم. از حل‌های CFD به همان‌گونه که از نتایج آزمایشگاهی تونل باد استفاده می‌شود، سود می‌بریم، یعنی، برای کمک به درک فیزیک جریان‌های سیال و فراهم ساختن کیفی مشاهدات جریان که به توضیح رفتار سیال کمک کند.

محتوا و ساختار

این کتاب شامل ۱۵ فصل است که با مفاهیم اساسی سیال و جریان‌های سیالی شروع و با مقدمه‌ای در مورد دینامیک سیال محاسباتی به اتمام می‌رسد، که کاربرد آن حتی در سطح دوره کارشناسی نیز به سرعت در حال گسترش می‌باشد.

- فصل ۱ یک مقدمه پایه‌ای در مورد سیالات، طبقه‌بندی جریان سیال، فرمول‌بندی‌های حجم معیار در برابر سیستم، ابعاد، ارقام با معنی و شیوه‌های حل مسائل را فراهم می‌کند.
- فصل ۲ به خواص سیال از قبیل چگالی، فشار بخار، گرماهای ویژه، لزجت و کشش سطحی می‌پردازد.
- فصل ۳ با استاتیک سیال و فشار سروکار دارد که شامل مانومترها و بارومترها، نیروهای هیدرواستاتیکی وارد به سطوح غوطه‌ور، شناوری و پایداری و سیالات با حرکت یکپارچه می‌باشد.
- فصل ۴ موضوعات مرتبط به سینماتیک سیال، از قبیل تفاوت میان توصیف‌های لاگرانژی و اویلری جریان‌های سیال، الگوهای جریان، مشاهده جریان، گردابی و چرخشی بودن، و تئوری انتقال رینولدز را پوشش می‌دهد.
- فصل ۵ قوانین اساسی بقاء جرم، مومنتوم و انرژی را با تأکید بر استفاده صحیح از معادلات جرم، برنولی و انرژی و کاربردهای مهندسی این معادلات معرفی می‌کند.
- فصل ۶ تئوری انتقال رینولدز را به معادلات مومنتوم خطی و مومنتوم زاویه‌ای اعمال می‌کند و بر کاربردهای عملی تحلیل مومنتوم برای حجم معیار تأکید دارد.
- فصل ۷ بر مفهوم همگنی ابعادی تأکید و تئوری پای باکینگهام، تحلیل ابعادی، تشابه دینامیکی و روش متغیرهای تکراری را معرفی می‌کند. موضوعی که در مابقی کتاب و در بسیاری از نظام‌ها در علم و مهندسی مفید است.
- فصل ۸ به جریان در لوله‌ها و مجراها اختصاص دارد. ما در مورد تفاوت میان جریان آرام و مغشوش، افت‌های اصطکاکی در لوله‌ها و مجراها و افت‌های جزیی در شبکه‌های لوله‌کشی بحث می‌کنیم. هم‌چنین توضیح می‌دهیم که چگونه یک پمپ یا دمنده را برای انطباق در سیستم لوله‌کشی به طور مناسب انتخاب می‌کنیم. سرانجام در مورد دستگاه‌های آزمایشگاهی که برای اندازه‌گیری دبی و سرعت استفاده می‌شوند بحث می‌کنیم.

- فصل ۹ با تحلیل دیفرانسیلی جریان سیال سروکار دارد و شامل استخراج و کاربرد معادله پیوستگی، معادله کوشی و معادله ناویر - استوکس می‌باشد. هم‌چنین تابع جریان را معرفی و اهمیت آن در تحلیل جریان سیال را تشریح می‌کنیم.
 - فصل ۱۰ در مورد تقریب‌های مختلف معادلات ناویر - استوکس بحث می‌کند و برای هر تقریب که شامل جریان خزشی، جریان غیرلزج، جریان غیر چرخشی (پتانسیل) و لایه‌های مرزی است مثال‌هایی را ارائه می‌کند.
 - فصل ۱۱ نیروهای وارد بر اجسام (پسا و برا)، توضیح تمایز میان پسای اصطکاکی و فشاری و به دست آوردن ضرائب پسا برای بسیاری از هندسه‌های متداول را پوشش می‌دهد. این فصل بر کاربرد عملی اندازه‌گیری‌های تونل باد همراه با تشابه دینامیکی و مفاهیم تحلیل ابعادی که قبلاً در فصل ۷ معرفی شد، تأکید می‌کند.
 - فصل ۱۲ تحلیل جریان سیال را به جریان تراکم‌پذیر، که در آن رفتار گازها به شدت تحت تأثیر عدد ماخ است، تعمیم می‌دهد و مفاهیم موج‌های انبساطی، موج‌های ضربه‌ای عمودی و مایل و جریان خفه شده را معرفی می‌کند.
 - فصل ۱۳ با جریان کانال باز و برخی الگوهای یگانه مرتبط با جریان مایعات با سطح آزاد از قبیل امواج سطحی و پرش‌های هیدرولیکی سروکار دارد.
 - فصل ۱۴ توربوماشین‌ها از قبیل پمپ‌ها، دمنده‌ها و توربین‌ها را با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار می‌دهد. به جای پرداختن به جزئیات طراحی پمپ‌ها و توربین‌ها تأکید بر چگونگی کار آنها می‌باشد. هم‌چنین، در مورد طراحی کلی پمپ و توربین براساس قوانین تشابه دینامیکی و تحلیل‌های برداری سرعت ساده شده بحث می‌کنیم.
 - فصل ۱۵ مفاهیم اساسی دینامیک سیال محاسباتی (CFD) را تشریح می‌کند و نشان می‌دهد که دانشجویان چگونه از کدهای CFD تجاری به عنوان یک ابزار برای حل مسائل پیچیده مکانیک سیالات باید استفاده کنند. به جای الگوریتم‌های مورد استفاده در کدهای CFD بر کاربرد CFD تأکید می‌کنیم.
- کتاب شامل تعداد وسیعی از مسائل تکلیف انتهای فصل‌ها است که برای استفاده توسط مدرسان مناسب می‌باشد. اغلب مسائل که نیاز به محاسبات دارند در سیستم آحاد SI هستند، اما تقریباً ۲۰ درصد مسائل در سیستم آحاد انگلیسی نوشته شده‌اند. سرانجام یک مجموعه از پیوست‌ها که خواص ترمودینامیکی و خواص سیال برخی از مواد، نه فقط هوا و آب همانند اغلب کتاب‌های سیالات مقدماتی، ارائه شده‌اند. بسیاری از مسائل انتهای فصل به استفاده از خواص نیاز دارند که در این پیوست‌ها یافت می‌شوند.

یونس ای. سنجل

جان. ام. سیمبالا

پیشگفتار مترجمین

خدای را شکر می‌کنیم که به ما این توفیق را عطا فرمود تا بتوانیم با ترجمه کتاب حاضر خدمت کوچکی را به دانشجویان و علاقمندان به علم مکانیک سیالات بنماییم. کتاب مکانیک سیالات که توسط سنجل و همکاران نوشته شده یکی از کتاب‌های خوب و جدید در زمینه علم سیالات در مقطع کارشناسی می‌باشد و امید فراوان داریم که ترجمه آن برای دانشجویان و دیگر استفاده‌کنندگان مفید فایده واقع شود.

در ترجمه حاضر سعی شده تا از فارسی‌سازی بی‌حد پرهیز شود و تا حد ممکن حق مطلب به گونه‌ای روان ادا شود. ترجمه مطالب در دو جلد ارائه می‌شوند که جلد اول آن که شامل فصل‌های اول تا هفتم است برای تدریس درس مکانیک سیالات I دانشگاهی مناسب می‌باشد. جلد دوم هم شامل مطالبی است که بخش عمده آنها را می‌توان در درس مکانیک سیالات II دنبال کرد. از اساتید، دانشجویان و خوانندگان محترم درخواست می‌شود که ما را از نقطه نظرات اصلاحی خود بی‌نصیب نگذارند تا اشکالات احتمالی که طبیعت هر کتابی است در چاپ‌های بعدی رفع گردند.

در خاتمه بر خود لازم می‌دانیم که از زحمات سرکارخانم زحل شیروانی که در تایپ و صفحه‌آرایی کتاب زحمات زیادی را متحمل شدند، قدردانی نماییم. از هماهنگی‌های به عمل آمده توسط جناب آقای مهندس محسن مرنندی سرپرست محترم مرکز نشر نیز قدردانی می‌شود.

مهندس داود طفرایی
دانشجوی دکترای مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر احمد رضا عظیمیان
استاد مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

یک	در مورد مؤلفین
سه	پیشگفتار مؤلفین
هفت	پیشگفتار مترجمین

فصل ۱: مقدمه و مفاهیم پایه

۲	۱-۱ مقدمه
۸	۲-۱ شرط عدم لغزش
۱۰	۳-۱ تاریخچه مختصری از مکانیک سیالات
۱۵	۴-۱ طبقه‌بندی جریان‌های سیال
۲۴	۵-۱ سیستم و حجم معیار
۲۶	۶-۱ اهمیت ابعاد و واحدها
۳۷	۷-۱ مدل‌سازی ریاضی مسائل مهندسی
۳۹	۸-۱ روش‌های حل مسأله
۴۲	۹-۱ بسته‌های نرم‌افزاری مهندسی
۴۶	۱۰-۱ دقت، تمرکز و ارقام با معنی
۵۴	مسائل
۵۷	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۲: خواص سیالات

۶۰	۱-۲ مقدمه
۶۲	۲-۲ چگالی و چگالی ویژه
۶۶	۳-۲ فشار بخار و کاویتاسیون
۶۸	۴-۲ انرژی و گرماهای ویژه

۷۱	۵-۲ ضریب تراکم‌پذیری
۷۷	۶-۲ لزجت
۸۶	۷-۲ کشش سطحی و اثرات موئینگی
۹۸	مسائل
۱۱۱	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۳: فشار و استاتیک سیال

۱۱۴	۱-۳ فشار
۱۲۳	۲-۳ مانومتر
۱۳۰	۳-۳ بارومتر و فشار اتمسفر
۱۳۶	۴-۳ مقدمه‌ای بر استاتیک سیال
۱۳۶	۵-۳ نیروهای هیدرواستاتیک وارد بر صفحات تخت غوطه‌ور
۱۴۵	۶-۳ نیروهای هیدرواستاتیکی وارد بر سطوح خمیده غوطه‌ور
۱۵۰	۷-۳ شناوری و پایداری
۱۶۲	۸-۳ سیالات با حرکت یکپارچه
۱۷۶	مسائل
۲۱۴	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۴: سینماتیک سیال

۲۱۶	۱-۴ توصیف‌های لاگرانژی و اویلری
۲۳۰	۲-۴ اصول مشاهده جریان
۲۴۴	۳-۴ ترسیم اطلاعات جریان سیال
۲۴۹	۴-۴ دیگر توضیحات سینماتیکی
۲۶۹	۵-۴ تئوری انتقال رینولدز
۲۸۷	مسائل
۳۱۴	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۵: معادلات جرم، برنولی و انرژی

۳۱۶	۱-۵ مقدمه
۳۱۸	۲-۵ بقای جرم
۳۳۲	۳-۵ انرژی مکانیکی و بازده
۳۴۰	۴-۵ معادله برنولی
۳۵۷	۵-۵ کاربردهای معادله برنولی
۳۶۷	۶-۵ معادله عمومی انرژی

۳۷۷	۷-۵ تحلیل انرژی در جریان‌های دائم
۳۹۴	مسائل
۴۱۷	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۶: تحلیل مومتوم سیستم‌های جریان سیال

۴۲۰	۱-۶ قوانین نیوتن و بقای مومتوم
۴۲۳	۲-۶ انتخاب حجم معیار
۴۲۵	۳-۶ نیروهای وارد بر یک حجم معیار
۴۳۲	۴-۶ معادله مومتوم خطی
۴۵۶	۵-۶ مروری بر حرکت دورانی و مومتوم زاویه‌ای
۴۶۱	۶-۶ معادله مومتوم زاویه‌ای
۴۷۵	مسائل
۴۹۵	مراجع و متون پیشنهادی

فصل ۷: تحلیل ابعادی و مدلسازی

۴۹۸	۱-۷ ابعاد و آحاد
۵۰۰	۲-۷ همگنی ابعادی
۵۱۳	۳-۷ تحلیل ابعادی و تشابه
۵۲۱	۴-۷ روش متغیرهای تکراری و تئوری پای باکینگهام
۵۴۸	۵-۷ آزمایش‌های تجربی و تشابه ناکامل
۵۶۲	مسائل
۵۹۷	مراجع و متون پیشنهادی
۵۹۹	پیوست ۱
۶۱۷	پیوست ۲
۶۳۱	واژه‌یاب

