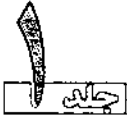




ویراست دوم

مکانیک سیالات

اصول و کاربردها



نویسندگان

یونس سنجل

جان سیمبالا

مترجمان

مجتبیٰ مهر جوئی

مسعود نیکخو

ناشر: کتب مهندسی، کامپوٹر، دانشگاه، مدیریت

نص

سرشناسه	: سنجل، یونس ا.	Cengel, Yunus A
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک سیالات اصول و کاربردها / یونس سنجل، جان سیمبالا؛	
مترجمان: مجتبی مهرجویی، مسعود نیکخو.		
مشخصات نشر	: تهران: نص، ۱۳۹۲.	
مشخصات ظاهری	: ۲ جلدی. مصور، جدول، نمودار + دیسک فشرده.	
شابک	: ۱۸۰۰۰۰ ریال یا CD	ISBN: 978-964-410-319-3 جلد (۱)
		ISBN: 978-964-410-320-9 جلد (۲)
		ISBN: 978-964-410-321-6 دوره
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا	
یادداشت	: عنوان اصلی:	Fluid mechanics: fundamentals and applications. 2 nd ed, c2010.
یادداشت	: واژه نامه.	
موضوع	: سیالات -- مکانیک	
شناسه افزوده	: سیمبالا، جان ام	Cimbala, John M
شناسه افزوده	: مهرجویی، مجتبی، ۱۳۶۲، مترجم	
شناسه افزوده	: نیکخو، مسعود، ۱۳۶۳، مترجم	
رده بندی کنگره	: ۶۲۰/۱۰۶ : ۹ م ۷ ۱۳۹۱ ج ۳۵۷ TA	
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۰۶	
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۸۲۳۸۱۵	



موسسه علمی فرهنگی

مکانیک سیالات اصول و کاربردها (ویراست دوم) / جلد (۱)

نویسندگان: یونس سنجل - جان سیمبالا

مترجمان: مجتبی مهرجویی - مسعود نیکخو

چاپ اول: بهار ۹۲

تیراژ: ۱۵۰۰

ناشر: «نص»

قیمت با cd: ۱۸۰۰۰ تومان

طراحی، چاپ، صحافی: موسسه علمی فرهنگی «نص»

فروشگاه: تهران - ضلع جنوب شرقی میدان انقلاب، شماره ۲۵

تلفن: ۶۶۴۰۵۳۷۲

دفتر: تهران، میدان انقلاب، خ متری جاوید، بن بست مین، شماره ۶

تلفن: ۶۶۴۱۱۳۸۵ - ۶۶۴۵۶۷۱ - ۶۶۵۲۸۸۳ فاکس: ۶۶۹۵۷۶۹۰

ص.ب. ۱۳۱۲۵-۸۶۳ ایمیل: info@nasspub.com

وب سایت: www.nass.ir

شابک ج (۱): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۱۹-۳	ISBN: 978-964-410-319-3
شابک ج (۲): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۲۰-۹	ISBN: 978-964-410-320-9
شابک دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۲۱-۶	ISBN: 978-964-410-321-6

درباره نویسندگان

به تمام دانشجویان، با آرزوی افزایش میل و اشتیاق شما برای کشف بطن فعالیت‌های جهان حیرت‌آور ما، که مکانیک سیالات یک بخش کوچک ولی فریبنده از آن است. آرزوی ما این است که این کتاب عشق شما به یادگیری را افزایش دهد، نه تنها درباره مکانیک سیالات بلکه درباره زندگی.



یونس سنجل پروفیسور بازنشسته مهندسی مکانیک در دانشگاه نوادا رنو است. وی مدرک کارشناسی خود را در مهندسی مکانیک از دانشگاه فنی استانبول و مدارک کارشناسی ارشد و دکتری در مهندسی مکانیک را از دانشگاه ایالتی کارولینا شمالی اخذ کرده است. حوزه تحقیقات او انرژی‌های تجدیدپذیر، آب شیرین‌کن، تحلیل قابلیت کاردهی، افزایش انتقال حرارت، انتقال حرارت تشعشعی و بقای انرژی است. او از ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ به عنوان مدیر مرکز ارزیابی صنعت در دانشگاه نوادا رنو به فعالیت مشغول بوده است. وی گروه‌های دانشجویان مهندسی را برای فعالیت‌های متعدد در نوادای شمالی و کالیفرنیا به منظور ارزیابی صنعت و تهیه گزارش‌های حفظ انرژی، کاهش تلفات و افزایش تولید برای آنها، هدایت کرده است.

دکتر سنجل نویسنده مشترک کتاب تحسین شده‌ی ترمودینامیک: رویکرد مهندسی، ویراست چهارم (۲۰۰۲) است. همچنین وی نویسنده کتاب انتقال حرارت: رویکرد عملی، ویراست سوم (۲۰۰۱) و نویسنده مشترک کتاب اصول علوم حرارتی سیال، ویراست سوم (۲۰۰۸) است.

دکتر سنجل چندین جایزه به عنوان استاد برجسته دریافت کرده است و جایزه نویسنده ASEE Meriam/Wiley را برای تألیف در ۱۹۹۲ و مجدداً در ۲۰۰۰ دریافت کرده است.

دکتر سنجل به عنوان یک مهندس حرفه‌ای در ایالت نوادا ثبت شده است و یک عضو از انجمن مهندسی مکانیک آمریکا (ASME) و انجمن آموزش مهندسی آمریکا (ASEE).



جان سیمبالا پروفیسور مهندسی مکانیک در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا است. وی مدرک کارشناسی خود را در مهندسی هوافضا از پن‌استیت و کارشناسی ارشد هوافضا را از انستیتوی فنی کالیفرنیا دریافت کرده است. او در ۱۹۸۴ دکتری خود را در هوافضا از انستیتوی فنی کالیفرنیا تحت هدایت پروفیسور آناتول روشکو دریافت کرده است که برای همیشه سپاسگزار اوست. حوزه تحقیقات وی شامل مکانیک سیالات و انتقال حرارت تجربی و عددی، اغتشاش، مدل‌سازی اغتشاش، توربوماشین، کیفیت هوای داخل اتاق و کنترل آلودگی هوا می‌شود. در طول سال تحصیلی ۱۹۹۳-۹۴ پروفیسور سیمبالا یک فرصت مطالعاتی از دانشگاه دریافت کرد و در مرکز تحقیقات NASA مشغول به کار شد که این فرصت سبب شد که دانش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و مدل‌سازی اغتشاش خود را افزایش دهد.

دکتر سیمبالا نویسنده مشترک سه کتاب دیگر است: مهندسی کیفیت هوای اتاق: سلامت محیطی و کنترل آلودگی اتاق (۲۰۰۳)، ضروریات مکانیک سیالات: اصول و کاربردها (۲۰۰۸) و اصول علوم حرارتی سیال، ویراست سوم (۲۰۰۸). وی همچنین در بخش‌هایی از کتاب‌های دیگر مشارکت داشته است و نویسنده یا نویسنده مشترک دوازده مقاله ژورنال و کنفرانس است. اطلاعات بیشتر در www.mne.psu.edu/cimbala یافت می‌شود.

پروفیسور سیمبالا دریافت‌کننده چندین جایزه استاد برجسته است. وی نوشتن کتاب را به عنوان توسعه عشق به تدریس می‌بیند. او عضو انستیتوی هوافضای آمریکا (AIAA)، انجمن مهندسی مکانیک (ASME)، انجمن آموزش مهندسی آمریکا (ASEE) و انجمن فیزیک آمریکا (APS) است.

مقدمه شرحان

مکانیک سیالات یکی از دروس اصلی دوره تحصیلی مهندسان مکانیک محسوب می‌شود. شاخه‌ای جذاب از علم مکانیک که دانشجویان می‌توانند نمایشگاهی از کاربردهای آن را هر روز و هر ساعت در اطراف خود مشاهده کنند. ارائه جذاب مباحث مختلف این علم می‌تواند علاقه دانشجویان را به یادگیری آن افزایش دهد. ویژگی اصلی کتاب حاضر که سبب شاخص شدن آن نسبت به کتاب‌های مکانیک سیالات دیگر می‌شود، ارائه شیرین، جذاب و روان سرفصل‌های متداول کتاب‌های مقدماتی مکانیک سیالات است. بگونه‌ای که خواننده این کتاب علاوه بر یادگیری اصول و معادلات اساسی مکانیک سیالات، کاربردهای متنوع این علم را بخصوص در فناوری‌های روز دنیا می‌آموزد.

ویژگی‌هایی که از این کتاب شرح داده شد تنها در صورتی به ترجمه آن انتقال می‌یابد که ناشر، اهمیت ارائه جذاب دروس پایه برای دانشجویان را بخوبی درک کرده باشد. خوشبختانه انتشارات نص تلاش کرده است که تمام سلیقه و ظرافتی که در کتاب اصلی وجود دارد را در ترجمه فارسی آن بکار گیرد. امید است که تلاش صورت گرفته برای تهیه این مجموعه مورد توجه اساتید و دانشجویان کشورمان قرار گیرد.

مهرجوئی - نیکخو

- فصل سوم با استاتیک سیال و فشار، شامل مانومترها و بارومترها، نیروهای هیدرواستاتیک روی سطوح غوطه‌ور، شناوری و پایداری و سیالات در حرکت صلب سر و کار دارد.
- فصل چهارم موضوعات مربوط به سینماتیک سیال، از قبیل تفاوت میان توصیف‌های لاگرانژی و اویلری جریان‌های سیال، الگوهای جریان، آشکارسازی جریان، چرخش و گردابه و تئوری انتقال رینولدز مربوط می‌شود.
- فصل پنجم قوانین بقای جرم، مومنتوم و انرژی را با تأکید بر استفاده مناسب از معادلات جرم، برنولی و انرژی و کاربردهای مهندسی این معادلات معرفی می‌کند.
- فصل ششم تئوری انتقال رینولدز را برای مومنتوم خطی و مومنتوم زاویه‌ای اعمال می‌کند و بر کاربردهای مهندسی تحلیل مومنتوم حجم کنترل محدود تأکید می‌کند.
- فصل هفتم بحث همگنی ابعادی را تقویت می‌کند و تئوری PI باکینگهام آنالیز ابعادی، تشابه دینامیکی و روش متغیرهای تکراری را معرفی می‌کند - بحثی که در بقیه کتاب و در بسیاری از قواعد علوم و مهندسی کاربرد دارد.
- فصل هشتم به جریان در لوله‌ها و کانال‌ها اختصاص دارد. ما در مورد تفاوت میان جریان لایه‌ای و مغشوش، اتلاف اصطکاکی در لوله‌ها و کانال‌ها، تلفات موضعی در شبکه‌های لوله‌کشی بحث می‌کنیم. همچنین بحث می‌کنیم که چگونه بدرستی یک پمپ یا فن را برای تطابق با شبکه لوله‌کشی انتخاب کنیم. سرانجام نیز در مورد وسایل آزمایشگاهی که برای اندازه‌گیری دبی و سرعت جریان بکار گرفته می‌شود، بحث می‌کنیم.
- فصل نهم با تحلیل دیفرانسیلی جریان سیال شامل بدست آوردن و کاربرد معادله پیوستگی، معادله کوشی و معادله ناویر استوکس سر و کار دارد. همچنین تابع جریان معرفی می‌شود و فواید آن در تحلیل جریان‌های سیال شرح داده می‌شود.
- فصل دهم بر روی چندین تقریب معادله ناویر استوکس بحث می‌کند و حل‌های نمونه‌ای برای هر تقریب شامل جریان خزشی، جریان غیرلزج، جریان غیر چرخشی (پتانسیل) و لایه‌های مرزی ارائه می‌کند.
- فصل یازدهم نیروهای روی اجسام (درگ و لیفت) را می‌پرسد، تمایز بین درگ اصطکاکی و فشاری را شرح می‌دهد و ضرایب درگ را برای بسیاری از هندسه‌های متداول ارائه می‌کند. این فصل بر کاربردهای عملی اندازه‌گیری‌های تونل باد همراه با تشابه دینامیکی و مباحث آنالیز ابعادی معرفی شده در فصل هفتم تأکید دارد.
- فصل دوازدهم تحلیل جریان سیال برای جریان تراکم‌پذیر که رفتار گازها به مقدار زیادی از عدد ماخ و مباحث امواج انبساطی، امواج ضربه قائم و مایل و جریان خفه‌شده تأثیر می‌گیرد را باز می‌کند.
- فصل سیزدهم با جریان کانال باز و چند خاصیت ویژه مربوط به جریان مایعات با سطح آزاد از قبیل امواج سطحی و پرش هیدرولیکی سر و کار دارد.
- فصل چهاردهم به بررسی توربوماشین‌ها با جزئیات بیشتری می‌پردازد، شامل پمپ‌ها، فن‌ها و توربین‌ها. در این فصل بجای اینکه بر جزئیات طراحی پمپ‌ها و توربین‌ها تأکید شود، بیشتر به آن پرداخته می‌شود که پمپ‌ها و توربین‌ها چگونه کار می‌کنند. همچنین طراحی کلی پمپ و توربین نیز براساس قوانین تشابه دینامیکی و تحلیل ساده‌شده‌ی بردار سرعت مورد بحث قرار می‌گیرد.
- فصل پانزدهم مباحث پایه‌ای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) را شرح می‌دهد و به دانشجویان نشان می‌دهد که چگونه از کدهای تجاری CFD همانند ابزاری برای حل مسائل مکانیک سیالات استفاده کنند. ما بجای شرح الگوریتم مورد استفاده در کدهای CFD بر کاربرد CFD تأکید داریم.

هر فصل حاوی تعداد زیادی تمرین مناسب برای استفاده اساتید است. اکثر مسائلی که شامل محاسبات می‌شوند، در واحد SI هستند ولی تقریباً ۲۰ درصد آنها در واحد انگلیسی هستند. در پایان، یک مجموعه پیوست کامل تهیه شده است که خواص ترمودینامیکی و سیالاتی چندین ماده (نه فقط هوا و آب که در اکثر کتاب‌های مکانیک سیالات وجود دارد) را ارائه می‌کند. بسیاری از مسائل پایان فصول نیازمند استفاده از خواص ارائه شده در این پیوست‌ها هستند.

یونس سنجلی

جان سیمبالا

www.ketab.ir

مقدمه نویسندگان

مکانیک سیالات یک مبحث هیجان‌انگیز و جذاب است که کاربردهای عملی نامحدودی دارد، از حوزه‌ی سیستم‌های زیستی میکروسکوپی گرفته تا خودروها، هواپیماها و فضاپیماها. هنوز هم مکانیک سیالات یکی از پرجالب‌ترین موضوعات برای دانشجویان کارشناسی است. برخلاف مباحث اولیه برای دانشجویان وروسی جدید، از قبیل فیزیک، شیمی که دانشجویان اغلب تنها معادلات را می‌آموزند و سپس در ماشین حساب خود به محاسبه می‌پردازند، تحلیل صحیح یک مسئله در مکانیک سیالات نیازمند کارهای بیشتری است. عموماً دانشجویان باید در ابتدا مسئله را ارزیابی کنند، فرضیات یا تقریبات را اعمال کرده و بسنجند. قوانین فیزیکی حاکم را در شکل مناسب اعمال کنند و معادلات حاصله را پیش از وارد کردن عددی در ماشین حساب حل کنند. حل بسیاری از مسائل در مکانیک سیالات نیازمند داشتن دانشی فراتر از علم نیست به موضوع مسئله است، بلکه نیاز به درک فیزیکی و تجربه دارد. هدف ما این است که این کتاب از طریق شرح دقیق مباحث و با استفاده از مثال‌های عملی، طرح‌ها، شکل‌ها و عکس‌های مختلف، میان دانش و کاربردهای موجود دانش پلی ایجاد نماید.

مکانیک سیالات یک مبحث بالغ است. بدین معنی که معادلات اساسی و تقریبات بصورت کامل تهیه شده‌اند و می‌توان آنها را در بسیاری از کتاب‌های مهندسی مکانیک سیالات یافت. هر کتاب جدید در این زمینه بواسطه روش ارائه موضوع، از نویسنده قبلی تمایز داده می‌شود. یک کتاب مکانیک سیالات باید موضوع را در یک نظام مرفقی از سطح ساده به بسیار پیچیده ارائه کند، بگونه‌ای که هر فصل را برپایه آماده‌سازی‌های فصل‌های گذشته بیان کند. در این مسیر، حتی جنبه‌های چالش برانگیز سستی مکانیک سیالات می‌تواند در آموزش مؤثر واقع شود. مکانیک سیالات به مقدار بسیار زیادی با طبیعت سر و کار دارد و بسیار ملموس است و دانشجویان با مشاهده شبیه‌سازی‌ها می‌توانند بسیار بهتر بیاموزند. بنابراین ضروری است که یک کتاب مکانیک سیالات خوب؛ شکل‌ها، عکس‌ها و سایر کمک‌های بصری را نیز تهیه کند که اهمیت و معنی عبارات ریاضیاتی را شرح دهند.

اهداف

این کتاب برای استفاده بصورت کتاب درسی در اولین دوره مکانیک سیالات برای دانشجویان کارشناسی مهندسی در سال سوم یا بالاتر در نظر گرفته شده است. فرض شده است که دانشجویان پیش‌زمینه کافی از محاسبات، فیزیک، مکانیک مهندسی و ترمودینامیک دارند. اهداف این کتاب به شرح زیر است:

- پوشاندن اصول پایه‌ای و معادلات مکانیک سیالات
- ارائه مثال‌های مهندسی واقعی متنوع و متعدد به منظور ایجاد یک احساس برای دانشجویان از اینکه چگونه مکانیک سیالات در کاربردهای مهندسی بکار گرفته می‌شود
- ایجاد یک درک حسی از مکانیک سیالات با تأکید بر فیزیک و با پشتیبانی شکل‌ها و کمک‌های بصری جذاب برای تقویت درک فیزیکی

این کتاب شامل سرفصل‌های کافی برای آموزشی انعطاف‌پذیر با تأکید بر موضوعات مختلف است. به عنوان نمونه، بحث مهندسی هوافضا بیشتر برای جریان پتانسیل، درگ و لیفت، جریان تراکم‌پذیر، توربوماشین و CFD مورد استفاده قرار گرفته است، درحالی‌که مهندسی مکانیک و عمران به ترتیب برای جریان‌های داخلی و جریان‌های کانال باز بکار گرفته شده است. این کتاب با حجم کافی برای تدریس دو دوره متوالی مکانیک سیالات نوشته است.

مطالب جدید در ویراست دوم

در این ویرایش به غیر از موارد زیر، محتوای کلی و ترتیب ارائه مطالب بطور شاخص تغییر نکرده است: اکنون هر فصل با یک عکس هیجان‌انگیز آغاز شده تا جذابیت‌های محتوای فصل را بیان کند. همچنین چندین عکس جدید در طول کتاب اضافه شده است و اغلب نقاشی‌ها با عکس‌ها جایگزین شده‌اند تا کاربردهای عملی در زندگی واقعی مشاهده شود. بخش سرعت صوت از فصل ۱۲ (جریان تراکم‌پذیر) به فصل ۲ (خواص سیالات) جابجا شده است. در فصل ۶ (تحلیل مومتموم سیستم‌های جریان)، زیربخش جریان بدون نیروهای خارجی برای روشن شدن بیشتر، اصلاح شده است. چندین بخش از فصل ۱۳ (جریان کانال‌های باز) با کمک پروفیسور دیوید اف. همال اضافه شده است. این بخش‌ها شامل یک مثال با حل عددی و چندین مسئله در آخر فصل می‌شود که نیاز به حل عددی دارد. در فصل ۱۴ (توربوماشین‌ها)، زیربخش توربین‌های گاز و بخار از انتهای فصل به بخش توربین‌ها منتقل شده است. همچنین یک زیربخش جدید با نام توربین‌های بادی اضافه شده است. سرانجام در فصل ۱۵ (مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی)، بخش تولید مش را با بحثی از مش‌های چندوجهی که امروزه بیشتر عمومی است، اضافه کرده‌ایم.

در این ویرایش، مسائل حل شده جدیدی به اکثر فصل‌ها اضافه شده است. همچنین بیش از ۲۰۰ مسئله انتهای فصل جدید اضافه شده و بسیاری از مسائل موجود تغییر کرده است تا بیشتر متنوع و کاربردی شوند. شاخص‌ترین افزایش مسائل انتهای فصل مربوط به تمرین‌های FlowLab می‌شود. در ویرایش اول، ۴۶ مسئله FlowLab وجود داشت و همه در فصل ۱۵ بودند. در این ویرایش، ۷۸ مسئله جدید FlowLab به کمک شین موآکن، آجای پاریهار، سرچیت سوکوماران و آجی والاوالکار از ANSYS-FLUENT اضافه شده است. الگوهای FlowLab جدید با اهداف پایه‌ای مکانیک سیالات طراحی شده‌اند و بنابراین در طول کتاب توزیع گشته‌اند. این کار برای اساتیدی انجام شده است که علاقه دارند دانشجویان‌شان با CFD آشنا شوند. اکثر الگوهای جدید FlowLab این فرصت را برای دانشجویان فراهم می‌کند که حل‌های عددی را با حل تحلیلی مقایسه کنند. برای مثال، هنگامیکه در رابطه با لزجت و جریان میان استوانه‌های هم‌مرکز در فصل ۲ مطالعه می‌کنند آنها همچنین می‌توانند چندین مسئله انتهای فصل FlowLab را با هندسه یکسان اجرا کنند که آنها می‌آموزند تقریب پروفیل سرعت خطی بحث شده در فصل ۲ با افزایش اندازه فاصله از بین می‌رود. این مسئله در فصل ۹ مجدداً مشاهده می‌شود. جاییکه آنها می‌آموزند که با استفاده از معادله ناویر-استوکس، مسائلی را برای هر اندازه‌ای از فاصله بطور دقیق حل کنند و حل تحلیلی خود را با CFD مقایسه کنند.

مطالب و سازمان‌یابی

این کتاب در پانزده فصل تهیه شده است که با مباحث پایه‌ای سیالات و جریان سیال آغاز می‌شود و با مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی، کاربردهای آن که به سرعت بیش از پیش حتی در سطح کارشناسی، متداول می‌شوند، به پایان می‌رسد.

- فصل اول یک مقدمه‌ی پایه‌ای از سیالات، طبقه‌بندی جریان سیال، حجم کنترل برحسب فرمول-بندی سیستم، ابعاد، واحدها، ارقام بامعنی و روش‌های حل مسئله تهیه می‌کند.
- فصل دوم به خواص سیال از قبیل چگالی، فشار بخار، گرماهای ویژه، سرعت صوت، لزجت و کشش سطحی اختصاص دارد.

فهرست مطالب

۱
چکالی

WWW.ketab.ir

فصل ۱	مقدمه و مفاهیم پایه‌ای	۱۱	فصل ۳	فشار و استاتیک سیالات	۷۷
۱-۱	مقدمه	۱۳	۳-۱	فشار	۷۸
۲-۱	شرط غیر لغزشی	۱۵	۳-۲	وسایل اندازه‌گیری فشار	۸۲
۳-۱	تاریخچه مختصری از مکانیک سیالات	۱۶	۳-۳	مقدمه‌ای بر استاتیک سیالات	۸۸
۴-۱	طبقه‌بندی جریانهای سیال	۱۸	۴-۲	نیروهای هیدرواستاتیک بر روی صفحات تخت غوطه‌ور	۸۹
۵-۱	سیستم و حجم کنترل	۲۳	۵-۳	نیروهای هیدرواستاتیک بر روی صفحات منحنی غوطه‌ور	۹۳
۶-۱	اهمیت انبساط و انقباضها	۲۳	۶-۳	شناوری و پایداری	۹۶
۷-۱	مدلسازی ریاضی مسائل مهندسی	۲۹	۷-۳	سیالات در حرکت صلب	۱۰۱
۸-۱	تکنیک حل مساله	۳۰			
۹-۱	بسته‌های نرم‌افزاری مهندسی	۳۲			
۱۰-۱	درستی، دقت و ارقام بامعنی	۳۴			
فصل ۲	خواص سیالات	۴۳	فصل ۴	سینماتیک سیال	۱۲۷
۱-۲	مقدمه	۴۴	۴-۱	توصیفات لاگرانژی و اویلری	۱۲۸
۲-۲	چگالی و چگالی مخصوص	۴۵	۴-۲	الگوهای جریان و آشکارسازی جریان	۱۳۳
۳-۲	فشار بخار و کاویتاسیون	۴۷	۴-۳	نمودارهای اطلاعات جریان سیال	۱۴۰
۴-۲	انرژی و گرمای ویژه	۴۸	۴-۴	سایر توصیفات سینماتیک	۱۴۲
۵-۲	تراکم پذیری و سرعت صوت	۵۰	۵-۴	ورتیسیته و حالت چرخشی	۱۴۶
۶-۲	لزجت	۵۵	۶-۴	تئوری انتقال رینولدز	۱۵۰
۷-۲	کشش سطحی و اثر موئینگی	۵۹			

۵

فصل ۵ معادلات جرم، انرژی و انرژی

۱-۵	مقدمه	۱۷۲
۲-۵	بقای جرم	۱۷۲
۳-۵	انرژی مکانیکی و بازده	۱۷۹
۴-۵	معادله برنولی	۱۸۲
۵-۵	معادله انرژی کلی	۱۹۴
۶-۵	تحلیل انرژی جریانهای دائم	۱۹۹

۶

فصل ۶ تحلیل مومنتوم سیستمهای جریان

۱-۶	قوانین نیوتن	۲۲۰
۲-۶	انتخاب حجم کنترل	۲۲۱
۳-۶	نیروهای اعمالی روی یک حجم کنترل	۲۲۲
۴-۶	معادله مومنتوم خطی	۲۲۵
۵-۶	بررسی حرکت چرخشی و مومنتوم زاویه‌ای	۲۲۶
۶-۶	معادله مومنتوم زاویه‌ای	۲۳۶

۷

فصل ۷ آنالیز ابعادی و مدلسازی

۱-۷	ابعاد و واحدها	۲۵۶
۲-۷	همگنی ابعادی	۲۵۶
۳-۷	آنالیز ابعادی و تشابه	۲۶۱
۴-۷	روش متغیرهای تکراری و تئوری PI باکینگهام	۲۶۵
۵-۷	آزمایش تجربی، مدلسازی و تشابه ناقص	۲۷۷

۸

فصل ۸ جریان داخلی

۱-۸	مقدمه	۳۰۴
۲-۸	جریانهای آرام و منشوش	۳۰۵
۳-۸	ناحیه ورودی	۳۰۷
۴-۸	جریان لایه‌ای در لوله‌ها	۳۰۹
۵-۸	جریان منشوش در لوله‌ها	۳۱۶
۶-۸	اتلافهای جزئی	۳۲۷
۷-۸	شبکه‌های لوله‌کشی و انتخاب پمپ	۳۳۳
۸-۸	اندازه‌گیری دبی جریان و سرعت	۳۴۰

۳۷۷ ویژه نامه فارسی به انگلیسی

۳۷۸ ویژه نامه انگلیسی به فارسی

۳۸۱ پیوست ۱

۳۹۹ پیوست ۲