

رابرت دبلیو. فاکس
الن تی. مک‌دونالد
فیلیپ جی. پریچارد

مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات

(ویراست ششم، ۲۰۰۷)

ترجمه بهرام پوستی

www.ketab.ir



سرشناسه	فاکس، رابرت، ۱۹۳۴ - Fox, Robert W.
عنوان و پدیدآور	مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات / رابرت دبلیو. فاکس، الن تی. مک‌دونالد، فیلیپ جی. پریچارد؛ ترجمه بهرام پوستی.
وضعیت ویراست	ویراست ششم
مشخصات نشر	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری	دوازده، ۸۰۴ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۶۹۰۴-۸۳-۵
یادداشت	فیبا
یادداشت	Introduction to Fluid Mechanics, 6th ed, c2004
یادداشت	کتابنامه به صورت زیرنویس.
یادداشت	نمایه.
موضوع	سیالات -- مکانیک.
شناسه افزوده	McDonald, Alan T., الن، مک‌دونالد،
شناسه افزوده	Pritchard, Philip J., پریچارد، فیلیپ،
شناسه افزوده	پوستی، بهرام، ۱۳۳۲ - مترجم.
رده‌بندی کنگره	۱۳۸۵ م۷ / ف۲ / TA۳۵۷
رده‌بندی دیویی	۶۲۰ / ۱۰۶
شماره کتابخانه ملی	۴۲۹۱۷-۸۵ م



نشر کتاب دانشگاهی

رابرت دبلیو. فاکس • الن تی. مک‌دونالد، فیلیپ جی. پریچارد

مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات (ویراست ششم)

ترجمه بهرام پوستی

چاپ ۳۲ ۱۴۰۱

آماده‌سازی پیش از انتشار

لیلا یارمحمدی، جواد شریف‌پور، فاران اتحاد

ویراستار بهروز صفزاده

لیتوگرافی رامین

چاپ و صحافی صادق

تعداد صفحات ۸۰۴، خشتی

۲۰۰ نسخه

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۶۹۰۴-۸۳-۵



مرکز پخش: شماره ۸۷ خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، تلفن ۶۶۴۱۸۵۸۶

website: www.ketabedanehshgahi.com e-mail: ketabedanehshgahi@gmail.com

کتاب فردا: www.fardabook.com

حقوق چاپ و نشر دائم این اثر محفوظ و مخصوص نشر کتاب دانشگاهی است.

۲۰۰۰۰۰ تومان

پیش‌گفتار

این کتاب را به‌عنوان مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات نوشته‌ایم. مانند قبل، مفاهیم فیزیکی را مورد توجه قرار داده و تحلیل‌ها را با اصول بنیادی شروع کرده‌ایم. هدف این است که دانشجو با روشی قانونمند به حل مسائل بپردازد. برای این منظور، در مثال‌ها (که اساساً با استفاده از روش حجم‌کنترل حل شده‌اند)، ابتدا معادله‌های اصلی و سپس فرض‌ها را آورده‌ایم. سرانجام، نتایج ریاضی را به مفاهیم فیزیکی ارتباط داده‌ایم.

شیوه مذکور را در تمام ۱۱۶ مثال این کتاب به‌کار برده‌ایم. مثال‌ها را برحسب عنوان قسمت‌ها تنظیم کرده‌ایم و در حل آنها نکات مشکل را توضیح داده‌ایم. چهل و پنج مثال را نیز با استفاده از کارپوشه Excel^۱ حل کرده‌ایم. به این ترتیب، دانشجو می‌تواند تحلیل‌های "what if" را در این مثال‌ها انجام دهد.

در صفحه ۱، تحت عنوان "توضیح"، اطلاعات مهمی درباره کتاب و روش‌های تحلیل داده‌ایم. پیشنهاد می‌شود این قسمت را با دقت مطالعه، و از روش‌های گفته‌شده برای حل مسائل استفاده کنید. در ۷۰ درصد مثال‌ها و مسائل از واحدهای SI، و در بقیه مسائل از واحدهای مهندسی انگلیسی استفاده کرده‌ایم تا دانشجو با این دستگاه سستی نیز آشنا شود و تجربه لازم را در تبدیل واحدها کسب نماید. توضیحات کامل، همراه با مثال‌های گوناگون، کتاب را برای دانشجویان قابل فهم کرده است. به این ترتیب، استاد برای تدریس عناوینی مانند جریان غیرنیوتنی، لایه مرزی، لیفت و دراگ، یا روش‌های آزمایشی می‌تواند با مطالب خارج از کتاب شروع کند؛ سپس وارد موضوع شود، مثال‌ها را حل کند، نکات مشکل را توضیح دهد، و با استفاده از چهل و پنج مثال کامپیوتری، تأثیر تغییر پارامترهای موجود در مسائل را بررسی کند.

مطالب با دقت و طوری انتخاب شده‌اند که گستره وسیعی از عناوین مناسب برای یک یا دو ترم را

پوشش دهند. در نگارش این کتاب، فرض کرده‌ایم دانشجوی دوره‌های دینامیک جسم صلب و ریاضیات (از سطح مقدماتی تا معادله‌های دیفرانسیل) را گذرانده است. برای مطالعه جریان تراکم‌پذیر، اطلاع از ترمودینامیک نیز لازم است.

عناوین پیشرفته‌تر را در CD آورده‌ایم. حذف این عناوین، پیوستگی مطالب کتاب را از بین نمی‌برد و دانشجوی در صورت تمایل می‌تواند به CD مراجعه کند.

مطالب کتاب به صورت زیر دسته‌بندی شده است:

- مفاهیم مقدماتی، حوزه کاربرد مکانیک سیالات و استاتیک سیالات (فصل‌های ۱، ۲، ۳).
- استنتاج و کاربرد شکل حجم کنترلی معادله‌های بنیادی (فصل ۴).
- استنتاج و کاربرد شکل دیفرانسیلی معادله‌های بنیادی (فصل‌های ۵ و ۶).
- تحلیل ابعادی و رابطه بین داده‌های آزمایشی (فصل ۷).
- کاربردهای جریان تراکم‌ناپذیر ویسکوز داخلی (فصل ۸).
- کاربردهای جریان تراکم‌ناپذیر ویسکوز خارجی (فصل ۹).
- تحلیل و کاربردهای ماشین‌های سیالی (فصل ۱۰).
- تحلیل و کاربرد جریان‌های تراکم‌پذیر یک‌بعدی و دوبعدی (فصل‌های ۱۱ و ۱۲).


در فصل ۴، حجم کنترل دیفرانسیلی و حجم کنترل معین تحلیل می‌شوند. با کاربرد معادله‌های بنیادی به صورت دیفرانسیلی، معادله برنولی در فصول ۴-۴ استنتاج می‌شود. با استفاده از این معادله می‌توان مسائل مشکل را که با معادله حجم کنترلی تکانه سر و کار دارند حل کرد.

در فصل ۶، با انتگرال‌گیری از معادله اوپلر در امتداد خط جریان، معادله برنولی با شیوه دیگر استنتاج می‌شود. استاد می‌تواند تدریس معادله برنولی را تا فصل ۶ به تعویق انداخته، و مسائل مشکل فصل ۴ را در فصل ۶ مطرح کند.

در این ویرایش، تغییرات مهمی صورت گرفته است. در فصل ۷، موضوع بی‌بعد کردن معادله‌های اصلی را به ابتدای فصل آورده‌ایم. در فصل ۸، پمپ‌ها را در مبحث انرژی جریان در لوله بررسی کرده‌ایم. مبحث سیستم لوله‌کشی چند مسیر را با تفصیل بیشتر و با استفاده از کارپوشه Excel مطرح کرده‌ایم. در فصل ۱۰، برای ماشین‌هایی که کار انجام می‌دهند و ماشین‌هایی که کار می‌گیرند عنوان‌های فرعی جداگانه‌ای آورده‌ایم. فصل ۱۲ را به طور کامل بازسازی کرده‌ایم؛ ابتدا، معادله‌های اصلی جریان تراکم‌پذیر یک‌بعدی را استنتاج، و آن را برای حالت‌های خاص (جریان تک‌انترپی، جریان در نازل، جریان فانو، جریان ریلی و امواج ضربه‌ای عمودی) به کار برده‌ایم. قسمت جدیدی را نیز تحت عنوان امواج ضربه‌ای مایل و امواج انبساطی آورده‌ایم.

در این ویرایش، تلاش کرده‌ایم مطالب را با وضوح بیشتر بنویسیم. پرفسور فیلیپ جی. پریچارد، از کالج منهن، نیز به جمع نگارنده‌ها پیوسته است. ایشان تمام دستنویس را مرور و ویرایش کرده است؛ ضمناً، مثال‌های گوناگون، شامل چهل و پنج مثال کامپیوتری، و نیز بیش از ۳۰۰ مسئله را بر آن افزوده است.

ویرایش ششم شامل ۱۳۱۵ مسئله است، که اغلب آنها چند قسمت دارند و طوری طرح شده‌اند که نیازی به حل همزمان تمام قسمت‌ها نباشد. تقریباً ۲۵ درصد این قسمت‌ها دارای سؤال‌های "what if" هستند.

در این ویرایش، اغلب مسائل جدید را با کامپیوتر می‌توان حل کرد. در این مسائل، که با علامت  مشخص شده‌اند، دانشجوی می‌تواند با استفاده از کارپوشه Excel مطالعات پارامتری انجام دهد. پیوست جدید H نیز تحت عنوان "A Brief Review of Microsoft Excel" در CD آورده شده است.

در این ویرایش، مسائل بسیاری را که نیاز به بحث دارند آورده‌ایم تا دانشجوی میزان درک خود را از مفاهیم بنیادی محکم بزند. مسائل هر فصل بر حسب عنوان آورده شده‌اند و ترتیب آنها طوری است که پیچیدگی آنها به مرور افزایش می‌یابد. به این ترتیب، استاد می‌تواند مسائل تکلیف را بر مبنای سطح آنها برای دانشجویان مشخص کند.

در موارد مقتضی، مسائل طراحی را آورده‌ایم. دانشجویانی که امکانات آزمایشی برای حل این مسائل را ندارند، می‌توانند به صورت گروهی کار کنند. این مسائل، دانشجویان را تشویق می‌کند تا برای درک اصول مکانیک سیالات در طراحی دستگاه‌ها وقت بگذارند.

موضوع توابع جریان تراکم‌پذیر در پیوست ه را گسترش داده، و امواج ضربه‌ای مایل و امواج انبساطی را در آن در نظر گرفته‌ایم. جداول داده‌شده در این پیوست را با استفاده از Excel می‌توان گسترش داد (در Excel، جداول بزرگتری برای هوا و سایر گازهای ایده‌آل وجود دارد).

نوارهای ویدئویی بسیاری برای نمایش و فهم اصول بنیادی مکانیک سیالات در دسترس‌اند. فهرست این نوارها در پیوست ج آورده شده است.

در ویرایش ششم، مفاهیم فیزیکی را در تمام متن مورد توجه قرار داده‌ایم تا دانشجوی بتواند انواع پدیده‌های واقعی در جریان سیال را مدل‌سازی کند و معادله‌های اصلی را برای انواع مسائل به کار ببرد. در حل مسائل، از روش‌های اصولی استفاده کرده‌ایم و کمتر به "فرمول‌سازی" متوسل شده‌ایم تا دانشجوی در کاربرد مفاهیم بنیادی اعتماد به نفس یافته و با استدلال منطقی به حل مسائل بپردازد.

فهرست مطالب

جریان تراکم‌پذیر و جریان تراکم‌ناپذیر	۳۹	مقدمه	۱
جریان داخلی و جریان خارجی	۴۰	توضیح	۱-۱
خلاصه	۴۲	تعریف سیال	۲-۱
مراجع	۴۲	حوزه کاربرد مکانیک سیالات	۳-۱
مسائل	۴۲	معادله‌های اصلی	۴-۱
		روش‌های تحلیل	۵-۱
فصل ۳ استاتیک سیالات	۵۲	سیستم و حجم کنترل	۵
معادله اصلی در استاتیک سیالات	۵۲	روش دیفرانسیلی و روش انتگرالی	۵
اتمسفراستندارد	۵۶	روش‌های توصیف	۸
تغییرات فشار در سیال ساکن	۵۷	ابعاد و واحدها	۱۰
مایعات تراکم‌ناپذیر: مانومتر	۵۷	دستگاه‌های ابعاد	۱۱
گازها	۶۳	دستگاه‌های واحدها	۱۱
سیستم‌های هیدرولیکی	۶۶	دستگاه‌های واحدها ترجیحی	۱۳
نیروی هیدروستاتیکی وارد بر سطوح غوطه‌ور	۶۶	خلاصه	۱۳
نیروی هیدروستاتیکی وارد بر سطح غوطه‌ور	۶۶	مسائل	۱۳
صفحه‌ای	۶۶		
نیروی هیدروستاتیکی وارد بر سطح غوطه‌ور	۶۶	فصل ۲ مفاهیم اصلی	۱۷
خمیده	۷۴	سیال به‌عنوان پیوستار	۱۷
شناوری و پایداری	۷۸	میدان سرعت	۱۹
سیالات با حرکت صلب‌گونه (در CD)	۸۲	جریان‌های یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی	۲۰
خلاصه	۸۲	خط زمان، خط مسیر، خط رگه و خط جریان	۲۱
مراجع	۸۲	میدان تنش	۲۴
مسائل	۸۳	ویسکوزیته	۲۶
		سیال نیوتنی	۲۸
فصل ۴ معادله‌های اصلی انتگرالی برای حجم کنترل	۹۹	سیالات غیرنیوتنی	۳۰
قوانین اصلی برای سیستم	۹۹	کشش سطحی	۳۲
پایستاری جرم	۹۹	توصیف و دسته‌بندی جریان‌ها	۳۵
قانون دوم نیوتن	۱۰۰	جریان ویسکوز و جریان ناویسکوز	۳۵
اصل تکانه زاویه‌ای	۱۰۰	جریان لایه‌ای و جریان متلاطم	۳۸

۴-۵	معادله تکانه ۲۱۱	قانون اول ترمودینامیک ۱۰۰
	نیروهای وارد بر ذره سیال ۲۱۲	قانون دوم ترمودینامیک ۱۰۱
	معادله تکانه دیفرانسیلی ۲۱۳	۲-۴ رابطه بین فرمول‌بندهای سیستمی و حجم‌کنترلی ۱۰۱
	سیال نیوتنی: معادله‌های ناویر-استوکس ۲۱۳	
	خلاصه ۲۲۲	۳-۴ فرمول‌بندی قوانین اصلی ۱۰۲
	مراجع ۲۲۳	تفسیر فیزیکی ۱۰۴
	مسائل ۲۲۳	پایستاری جرم ۱۰۵
		حالت‌های خاص ۱۰۶
فصل ۶	جریان تراکم‌ناپذیر ناویسکوز ۲۳۲	۴-۴ معادله تکانه برای حجم‌کنترل اینرسی ۱۱۲
۱-۶	معادله تکانه برای جریان بی‌اصطکاک: معادله اوایلر ۲۳۲	*تحلیل حجم‌کنترل دیفرانسیلی ۱۲۴
۲-۶	معادله اوایلر در دستگاه مختصات خط‌جریانی ۲۳۳	حجم‌کنترلی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند ۱۲۹
۳-۶	معادله برنولی - انتگرال‌گیری از معادله اوایلر در امتداد یک خط جریان در جریان پایا ۲۳۷	۵-۴ معادله تکانه برای حجم‌کنترلی که دارای شتاب مستقیم‌الخط است ۱۳۱
	استنتاج با استفاده از مختصات خط‌جریانی ۲۳۷	۶-۴ معادله تکانه برای حجم‌کنترلی که شتاب اختیاری دارد (در CD) ۱۳۹
	*استنتاج با استفاده از دستگاه مختصات مستطیلی ۲۳۸	۷-۴ اصل تکانه زاویه‌ای ۱۳۹
	فشار استاتیکی، فشار رکود و فشار دینامیکی ۲۳۹	معادله تکانه زاویه‌ای برای حجم‌کنترل ثابت ۱۳۹
	کاربردها ۲۴۳	• معادله تکانه زاویه‌ای برای حجم‌کنترل چرخان (در CD) ۱۴۴
	نکاتی که در کاربرد معادله برنولی باید رعایت شوند ۲۴۸	۸-۴ قانون اول ترمودینامیک ۱۴۴
	معادله برنولی به‌عنوان تفسیری از معادله انرژی ۲۴۹	آهنگ کار انجام شده توسط حجم‌کنترل ۱۴۴
	خط شیب انرژی و خط شیب هیدرولیکی ۲۵۴	معادله حجم‌کنترلی قانون اول ترمودینامیک ۱۴۶
	معادله برنولی در جریان ناپایا - انتگرال‌گیری از معادله اوایلر در امتداد یک خط جریان ۲۵۶	۹-۴ قانون دوم ترمودینامیک ۱۵۱
	جریان بی‌چرخش (در CD) ۲۵۶	۱۰-۴ خلاصه ۱۵۲
	خلاصه ۲۵۶	مسائل ۱۵۲
	مراجع ۲۵۷	
	مسائل ۲۵۷	فصل ۵ مقدمه‌ای بر تحلیل دیفرانسیلی حرکت سیال ۱۸۴
فصل ۷	تحلیل ابعادی و تشابه ۲۷۳	۱-۵ پایستاری جرم ۱۸۴
۱-۷	بی‌بعد کردن معادله‌های دیفرانسیل اصلی ۲۷۳	دستگاه مختصات مستطیلی ۱۸۴
۲-۷	ماهیت تحلیل ابعادی ۲۷۵	دستگاه مختصات استوانه‌ای ۱۸۹
۳-۷	نظریه پی‌بوکینگهام ۲۷۷	۲-۵* تابع جریان برای جریان تراکم‌ناپذیر دوبعدی ۱۹۳
۴-۷	تعیین گروه‌های P ۲۷۸	۳-۵ حرکت ذره سیال (سینماتیک) ۱۹۷
۵-۷	گروه‌های بی‌بعد مهم در مکانیک سیالات ۲۸۴	حرکت انتقالی سیال؛ شتاب ذره سیال در میدان سرعت ۱۹۷
		چرخش سیال ۲۰۳
		تغییر شکل سیال ۲۰۷

نازل جریان	۳۷۴
ونتوری	۳۷۶
جریان سنج لایه‌ای	۳۷۶
جریان سنج‌های خطی	۳۸۰
روش‌های پیمایشی (نقطه‌گیری)	۳۸۲
خلاصه	۳۸۳
مراجع	۳۸۳
مسائل	۳۸۵
فصل ۹ جریان خارجی تراکم‌ناپذیر ویسکوز ۴۰۹	
بخش الف لایه‌های مرزی	۴۱۰
مفهوم لایه مرزی	۴۱۰
ضخامت لایه مرزی	۴۱۲
لایه مرزی روی صفحه تخت: حل دقیق (در CD)	۴۱۵
معادله انتگرالی تکانه	۴۱۵
کاربرد معادله انتگرالی تکانه برای جریان با شیب فشار صفر	۴۲۱
جریان لایه‌ای	۴۲۲
جریان متلاطم	۴۲۶
شیب فشار در جریان لایه مرزی	۴۲۹
بخش ب جریان سیال پیرامون اجسام غوطه‌ور	۴۳۳
دراگ	۴۳۳
جریان روی یک صفحه تخت موازی با جریان:	
دراگ اصطکاکی	۴۳۴
جریان روی یک صفحه تخت عمود بر جریان:	
دراگ فشاری	۴۳۷
جریان روی کره و استوانه: دراگ اصطکاکی و فشاری	۴۳۸
اجسام خط جریانی	۴۴۵
لیفت (نیروی بالابر)	۴۴۷
خلاصه	۴۶۴
مراجع	۴۶۵
مسائل	۴۶۶
فصل ۱۰ ماشین‌های سیالی ۴۸۷	
تعریف و دسته‌بندی ماشین‌های سیالی	۴۸۷

تشابه جریان و مطالعات مدل	۲۸۶
تشابه غیرکامل	۲۸۹
مقیاس‌بندی با چند پارامتر وابسته	۲۹۵
نکاتی درباره آزمایش مدل	۲۹۹
خلاصه	۳۰۰
مراجع	۳۰۰
مسائل	۳۰۱
فصل ۸ جریان داخلی تراکم‌ناپذیر ویسکوز ۳۱۰	
مقدمه	۳۱۰
بخش الف جریان لایه‌ای کاملاً فراگیر	۳۱۲
جریان لایه‌ای کاملاً فراگیر بین صفحات موازی نامتناهی	۳۱۲
هر دو صفحه ساکن هستند	۳۱۲
صفحه بالایی با سرعت ثابت حرکت می‌کند	۳۱۸
جریان لایه‌ای کاملاً فراگیر در لوله	۳۲۰
بخش ب جریان در لوله‌ها و مجراها	۳۲۸
توزیع تنش برشی برای جریان کاملاً فراگیر در لوله	۳۲۹
منحنی سرعت جریان متلاطم کاملاً فراگیر در لوله	۳۳۰
بررسی انرژی جریان در لوله	۳۳۴
ضریب انرژی جنبشی	۳۳۵
افت هد	۳۳۵
محاسبه افت هد	۳۳۶
اتلافات اصلی: ضریب اصطکاک	۳۳۶
اتلافات فرعی	۳۴۱
پمپ‌ها، فن‌ها و دمنده‌ها در سیستم‌های سیالی	۳۴۷
مجراهای غیردایره‌ای	۳۴۸
حل مسائل جریان در لوله	۳۴۹
سیستم‌های تک‌مسیر	۳۵۰
*سیستم‌های چند مسیر	۳۶۴
بخش ج اندازه‌گیری جریان	۳۶۹
روش‌های مستقیم	۳۶۹
جریان سنج‌های مقید برای جریان‌های داخلی	۳۷۰
صفحه اورفیس	۳۷۳