

مکانیک سیالات

ویراست هفتم

فرانک ام. وایت

ترجمه محمد رضا افضلی



نشر کتاب دانشگاهی

سرشناسه	وایت، فرانک
عنوان و نام پدیدآور	White, Frank M.
مشخصات نشر	مکانیک سیالات / فرانک ام. وایت؛ ترجمه محمدرضا افضلی.
مشخصات ظاهری	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۹۳.
تیمایک	۹۰۰ ص.
وضعیت فهرست‌نویسی	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۰۷-۷۵-۳
یادداشت	فیفا
موضوع	عنوان اصلی: Fluid mechanics, 7th Ed., 2011
شناسه افزوده	سیالات -- مکانیک
رده‌بندی کنگره	افضلی، محمدرضا، ۱۳۳۱-، مترجم.
رده‌بندی دیوئی	۱۳۹۳ ۷۱۲/۳ TA۳۵۷
شماره کتاب‌شناسی ملی	۶۲۰/۱۰۶
	۳۶۶۸۸۲۴



نشر کتاب دانشگاهی

فرانک ام. وایت

مکانیک سیالات

ویراست هفتم

ترجمه محمدرضا افضلی

ویرایش و نمونه‌خوانی

فرزانه فرزادپور

حروف چینی و صفحه‌آرایی

الهام احمدی

امور هنری و گرافیک

قاران اتحاد

چاپ اول ۱۳۹۴

لبنوگرافی رامین

چاپ رامتن

صحافی کبیه

تعداد صفحات ۹۰۰، جیبی

۱۰۰۰ نسخه

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۰۷-۷۵-۳ ISBN 978-600-5107-75-3

۸۷

مرکز پخش: خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، شماره ۸۷، تلفکس ۶۶۴۶۷۲۲۶
Website: www.ketabodaneshgahi.com E-mail: info@ketabedaneshgahi.com

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

۳۶۰۰۰ تومان

درباره نویسنده

فرانک ام. وایت استاد ممتاز مهندسی مکانیک و اقیانوس در دانشگاه زد آیلند است. او در جورجیا تک و ام.ای.تی. تحصیل کرد. در سال ۱۹۶۶ در دانشگاه زد آیلند در تأسیس نخستین گروه مهندسی اقیانوس در امریکا شرکت داشت. وایت که در درجه اول معلم و نویسنده است، هشت جایزه آموزش دریافت کرده و چهار کتاب با موضوع مکانیک سیالات و انتقال گرما نوشته است.

وایت از سال ۱۹۷۹ تا سال ۱۹۹۰ سرپرستار نشریه مکانیک سیالات *ASME* بود و او سال ۱۹۹۱ تا سال ۱۹۹۷ ریاست هیئت ویراستاران و کمیته انتشارات *ASME* را بر عهده داشت. او عضو *ASME* بود و در سال ۱۹۹۱ جایزه مهندسی سیالات *ASME* را دریافت کرد. وایت در کنار همسرش جین در دراگنست، زد آیلند، زندگی می‌کند.

فهرست

پیش‌گفتار	نه	نیروهای هیدروستاتیکی وارد بر سطوح صفحه‌ای	۷۸
فصل ۱		نیروهای هیدروستاتیکی وارد بر سطوح خمیده	۸۶
مقدمه	۳	نیروهای هیدروستاتیکی در سیال‌های لایه‌بندی‌شده	۸۹
۱-۱ نکات مقدماتی	۳	شناوری و پایداری	۹۱
۲-۱ تاریخچه و چشم‌انداز مکانیک سیالات	۴	توزیع فشار در حرکت جسم صلب	۹۷
۳-۱ فنون حل مسئله	۶	اندازه‌گیری فشار	۱۰۵
۴-۱ مفهوم سیال	۶	خلاصه	۱۰۹
۵-۱ سیال به منزله پیوستار	۸	مسائل	۱۰۹
۶-۱ ابعاد و واحدها	۹	مسائل تشریحی	۱۳۵
۷-۱ خواص میدان سرعت	۱۷	مسائل آزمون مبانی مهندسی	۱۳۶
۸-۱ خواص ترمودینامیکی سیال	۱۸	مسائل جامع	۱۳۶
۹-۱ ویسکوزیته و سایر خواص ثانوی	۲۵	پروژه‌های طراحی	۱۳۸
۱۰-۱ فنون پایه‌ای تحلیل جریان	۴۰	مراجع	۱۳۹
۱۱-۱ الگوهای جریان: خطوط جریان، خطوط عبور، و خطوط مسیر	۴۱	فصل ۲	
۱۲-۱ حل معادله مهندسی	۴۶	روابط استوگرالی حجم کنترل	۱۴۳
۱۳-۱ عدم قطعیت داده‌های تجربی	۴۶	قوانین فیزیکی پایه‌ای مکانیک سیالات	۱۴۳
۱۴-۱ امتحان مبانی مهندسی (FE)	۴۸	قضیه انتقال رینولدز	۱۴۷
مسائل	۴۹	پایستگی جرم	۱۵۴
مسائل آزمون مبانی مهندسی	۵۸	معادله اندازه حرکت خطی	۱۵۹
مسائل جامع	۵۹	جریان بدون اصطکاک: معادله برنولی	۱۷۳
مراجع	۶۱	قضیه اندازه حرکت زاویه‌ای	۱۸۲
فصل ۲		معادله انرژی	۱۸۸
توزیع فشار در سیال	۶۵	خلاصه	۱۹۹
۱-۲ فشار و گرادیان فشار	۶۵	مسائل	۱۹۹
۲-۲ تعادل جزء سیال	۶۷	مسائل تشریحی	۲۳۰
۳-۲ توزیع فشار هیدروستاتیکی	۶۸	مسائل آزمون مبانی مهندسی	۲۳۰
۴-۲ کاربرد در جوسنجی	۷۵	مسائل جامع	۲۳۱
		پروژه طراحی	۲۳۳
		مراجع	۲۳۳

فصل ۴

روابط ديفرانسيلى جريان سيال ۲۳۵

- ۱-۴ ميدان شتاب سيال ۲۳۶
- ۲-۴ معادله ديفرانسيلى پاىستگى جرم ۲۳۸
- ۳-۴ معادله ديفرانسيلى اندازه حرکت خطى ۲۴۴
- ۴-۴ معادله ديفرانسيلى اندازه حرکت زاويه‌اى ۲۵۰
- ۵-۴ معادله ديفرانسيل انرژی ۲۵۲
- ۶-۴ شرايط مرزى برای معادله‌هاى پايه‌اى ۲۵۵
- ۷-۴ تابع جريان ۲۵۹
- ۸-۴ گردشاری و جريان غيرچرخشى ۲۶۷
- ۹-۴ جريان‌هاى غيرچرخشى بى اصطکاک ۲۶۹
- ۱۰-۴ چند جريان ويسکوز تراکم‌ناپذير ۲۷۲
- خلاصه ۲۸۲
- مسائل ۲۸۳
- مسائل تشریحی ۲۹۵
- مسائل آزمون مبانی مهندسی ۲۹۶
- مسائل جامع ۲۹۶
- مراجع ۲۹۷

فصل ۵

تحليل ابعادی و تشابه ۳۰۱

- ۱-۵ مقدمه ۳۰۱
- ۲-۵ اصل همگنی ابعادی ۳۰۴
- ۳-۵ قضیه پی ۳۱۰
- ۴-۵ بى بعدسازی معادلات پایه‌اى ۳۲۰
- ۵-۵ مدل‌سازی و دردسرهای آن ۳۲۹
- خلاصه ۳۴۱
- مسائل ۳۴۱
- مسائل تشریحی ۳۵۰
- مسائل آزمون مبانی مهندسی ۳۵۰
- مسائل جامع ۳۵۱
- پروژه طراحی ۳۵۲
- مراجع ۳۵۳

فصل ۶

جریان ويسکوز در مجراها ۳۵۷

- ۱-۶ رژیم‌هاى عدد رینولدز ۳۵۷
- ۲-۶ جريان‌هاى ويسکوز داخلی و خارجی ۳۶۲
- ۳-۶ افت هد - عامل اصطکاک ۳۶۵
- ۴-۶ جريان آرام کاملاً گسترش‌یافته در لوله ۳۶۷
- ۵-۶ مدل‌سازی تلاطم ۳۶۹

۶-۶

جریان متلاطم در لوله ۳۷۵

- ۷-۶ چهار نوع مسئله جريان داخل لوله ۳۸۳
- ۸-۶ جريان در مجراهای غيردايره‌اى ۳۸۹
- ۹-۶ تلفات جزئی یا موضعی در سيستم‌هاى لوله‌کشی ۳۹۸
- ۱۰-۶ سيستم‌هاى چندلوله‌اى ۴۰۷
- ۱۱-۶ جريان‌هاى تجربى در مجرا: داخل لوله عملکرد پخش‌کن ۴۱۳
- ۱۲-۶ سنجه‌هاى سيالات ۴۱۸
- خلاصه ۴۳۹
- مسائل ۴۴۰
- مسائل تشریحی ۴۶۰
- مسائل آزمون مبانی مهندسی ۴۶۱
- مسائل جامع ۴۶۱
- پروژه طراحی ۴۶۴
- مراجع ۴۶۵

فصل ۷

جریان در اطراف اجسام غوطه‌ور ۴۶۹

- ۱-۷ آثار شکل هندسی و عدد رینولدز ۴۶۹
- ۲-۷ تخمین انتگرال اندازه حرکت ۴۷۳
- ۳-۷ معادله‌هاى لایه مرزى ۴۷۶
- ۴-۷ لایه مرزى ورق تخت ۴۷۹
- ۵-۷ لایه‌هاى مرزى با گرادیان فشار ۴۸۸
- ۶-۷ جريان‌هاى خارجی تجربى ۴۹۴
- خلاصه ۵۲۱
- مسائل ۵۲۲
- مسائل تشریحی ۵۳۵
- مسائل آزمون مبانی مهندسی ۵۳۶
- مسائل جامع ۵۳۶
- پروژه طراحی ۵۳۸
- مراجع ۵۳۸

فصل ۸

جریان سانسيل و دینامیک سيالات محاسباتی ۵۴۱

- ۱-۸ مقدمه و مرور ۵۴۱
- ۲-۸ جواب‌هاى جريان صفحه‌اى مقدماتی ۵۴۴
- ۳-۸ برهم‌نهی جواب‌هاى جريان صفحه‌اى ۵۵۱
- ۴-۸ جريان صفحه‌اى عبورى از شکل‌هاى بسته ۵۵۷
- ۵-۸ ساير جريان‌هاى پتانسيل صفحه‌اى ۵۶۷
- ۶-۸ تصويرها ۵۷۱
- ۷-۸ نظریه برگه هواير ۵۷۴
- ۸-۸ جريان پتانسيل با تقارن محوری ۵۸۶
- ۹-۸ آنالیز عددی ۵۹۱

۷۴۸	اندازه‌گیری و تنظیم جریان با استفاده از بند سرریز
۷۵۵	خلاصه
۷۵۵	مسائل
۷۶۸	مسائل تشریحی
۷۶۹	مسائل آزمون مبانی مهندسی
۷۶۹	مسائل جامع
۷۷۰	پروژه طراحی
۷۷۱	مراجع

فصل ۱۱

تور بوم‌آشپین‌ها ۷۷۳

۷۷۳	مقدمه و دسته‌بندی
۷۷۶	پمپ گریزازمرکز (سانتریفوز)
۷۸۲	منحنی‌های عملکرد پمپ و قواعد تشابه
۷۹۲	پمپ‌های جریان مختلط و جریان محوری: دور ویژه
۷۹۹	تطبیق پمپ با مشخصه‌های مستقیم
۸۰۷	توربین
۸۲۱	خلاصه
۸۲۱	مسائل
۸۳۴	مسائل تشریحی
۸۳۴	مسائل جامع
۸۳۶	پروژه طراحی
۸۳۶	مراجع

پیوست الف ۸۳۸

پیوست ب ۸۴۳

پیوست ج ۸۵۰

پیوست د ۸۵۴

پاسخ مسائل ۸۵۶

واژه‌نامه ۸۶۳

نمایه ۸۶۷

خلاصه ۶۰۵

مسائل ۶۰۵

مسائل تشریحی ۶۱۷

مسائل جامع ۶۱۸

پروژه طراحی ۶۱۹

مراجع ۶۱۹

فصل ۹

جریان تراکم‌پذیر ۶۲۳

۶۲۳	مقدمه: مرور ترمودینامیک
۶۲۸	سرعت صوت
۶۳۰	جریان پایای آدیاباتیک و هم‌آنبوبی
۶۳۶	جریان هم‌آنبوبی با تغییرات سطح
۶۴۳	موج شوکی قائم
۶۵۱	طرز کار نازل‌های همگرا و واگرا
۶۵۶	جریان تراکم‌پذیر در مجرای با اصطکاک
۶۶۸	جریان در مجرای بی‌اصطکاک با انتقال گرما
۶۷۳	جریان فوق‌صوتی دو بُعدی
۶۸۳	امواج انبساطی پراتل-مایر
۶۹۵	خلاصه
۶۹۶	مسائل
۷۱۰	مسائل تشریحی
۷۱۰	مسائل آزمون مبانی مهندسی
۷۱۱	مسائل جامع
۷۱۲	پروژه طراحی
۷۱۳	مراجع

فصل ۱۰

جریان در کانال باز ۷۱۵

۷۱۵	مقدمه
۷۲۱	جریان یکنواخت: فرمول شزی
۷۲۶	کانال‌های کارآمد با جریان یکنواخت
۷۲۸	انرژی ویژه: عمق بحرانی
۷۳۶	جهش هیدرولیکی
۷۴۰	جریان با تغییرات تدریجی

پیش‌گفتار

رویکرد کلی

دریاست هفتم مکانیک سیالات حذف و اضافه‌های بیش‌تری به همراه دارد، اما تغییر فلسفی در آن دیده نمی‌شود. طرح اصلی یازده فصل این کتاب، به‌علاوه پیوست‌ها، حفظ شده است. رویکردهای سه‌گانه انتگرالی، دیفرانسیلی و تجربی را پی گرفته‌ام. بسیاری از مسائل و بعضی از مثال‌های حل‌شده تغییر کرده‌اند. سبک غیررسمی و دانشجویپسند کتاب حفظ شده است. چند عکس و شکل جدید به کتاب افزوده‌ام. مراجع زیادی به کتاب اضافه شده و تعداد کل آن‌ها به ۴۳۵ عنوان رسیده است. نگارنده به «بیش‌تر بخوانیم»، به‌ویژه در دوره‌های تحصیلات تکمیلی اعتقاد راسخ دارد. تعداد کل مسئله‌ها باز هم افزایش یافته و از ۱۰۸۹ مسئله در ویراست اول، به ۱۶۷۵ مسئله در ویراست هفتم رسیده و به هر فصل تقریباً ۲۰ مسئله جدید افزوده شده است. اغلب این‌ها مسئله‌های پایه‌ای آخر فصل‌اند که طبق موضوع دسته‌بندی شده‌اند. مسائل تشریحی، مسائل چندگزینه‌ای آزمون مبانی مهندسی، مسائل جامع و پروژه‌های طراحی نیز در کتاب آمده است. در پیوست، پاسخ حدود ۷۰۰ مسئله انتخابی ارائه شده است.

ابزارهای آموزشی

در متن کتاب مثال‌ها به تدریجی ارائه شده‌اند که بتوان مراحل توصیه‌شده برای حل مسئله، در بخش ۱-۳ را دنبال کرد. نرم‌افزار حل معادله مهندسی (EES) همراه کتاب است و هم‌چنان ابزاری جذاب برای حل مسائل مکانیک سیالات، و البته سایر مسائل مهندسی به شمار می‌رود. این نرم‌افزار صرفاً نرم‌افزاری عالی برای حل معادله نیست، بلکه شامل خواص ترمودینامیکی، نمودارهایی با کیفیت مطلوب برای چاپ، واریسی واحدها، و تعداد زیادی تابع ریاضی، شامل انتگرال‌گیری عددی، نیز هست. نگارنده خود را رهین منت استنفورد کلین و ویلیام بکمن، از دانشگاه ویسکانسین می‌داند که برای آماده‌سازی و روزآمد کردن EES برای این کتاب کمک‌های مستمر و ارزشمندی کرده‌اند. هر فصل تا حدودی بازنگری شده است. در فصل ۱ مطالبی در مورد تاریخچه مکانیک سیالات در اواخر قرن بیستم، به‌ویژه در مورد پیدایش دینامیک سیالات محاسباتی بحث شده، و مقدمه بسیار مختصری درباره میدان شتاب آمده است. هم‌چنین شرایط مرزی برای جریان لغزشی و بحث درباره سرعت صوت در مایعات نیز به این فصل افزوده شده است. بحث درباره رسانندگی گرمایی به فصل ۴ انتقال یافته است.

تغییرات محتوایی

فصل ۲ شامل عکس، شرح و مسئله‌های جدید درباره زردریایی ژرفاوار، ALVIN است. توزیع چگالی در تروپوسفر به‌صراحت ارائه شده و از ارشمیدس، ریاضی‌دان بزرگ یونانی، نیز به اختصار یاد شده است. فصل ۳ کاملاً بازنگری شده است. منتقدان کتاب، خواستار مطرح شدن معادلات برنولی قبل از معادلات سرعت زاویه‌ای و انرژی، و بعد از معادلات اندازه حرکت بودند. این کار را کردم تا اصلاح موردنظر آن‌ها انجام شود، اما به‌راستی ناگزیر به تغییرات بسیاری در شماره معادله‌ها و ترتیب مطالب شدم. بحث مربوط به شرایط فشار و سرعت در سطح مخزن را اصلاح کردم. تاریخچه‌ای مختصر از حجم کنترل به مطلب افزودم. رابطه بین معادله برنولی و معادله انرژی را بهتر بررسی کردم. بحث تازه‌ای در باب سکون، فشارهای استاتیکی و دینامیکی، و شرایط مرزی در خروجی جت نیز ارائه دادم.

فصل ۴ با عکس کاملاً جدیدی آغاز می‌شود: دینامیک سیالات محاسباتی برای جریان عبوری از اطراف توپ فوتبال با حرکت چرخشی. مشتق زمانی سرعت کامل و دقیق ارائه شده است. قانون فوریه و کاربرد آن در مورد معادله دیفرانسیل انرژی، از فصل ۴ به این فصل منتقل شده و ۲۱ مسئله جدید، شامل چندین تحلیل جریان لغزشی به این فصل افزوده‌ام.

مقدمه فصل ۵ را بسط داده‌ام تا آثار عدد ماخ و عدد فرود را شامل شود و صرفاً روی عدد رینولدز متمرکز نشده‌ام. روش ایپسن، که نگارنده آن را تحسین می‌کند، به عنوان جایگزین قضیه بی حفظ شده است. عکس آغاز فصل، که نوعی چترنجات غول‌آسا را نشان می‌دهد، مطرح کردن چندین مسئله جدید تحلیل ابعادی را امکان‌پذیر کرده است. فصل ۶ شامل فرمول جدیدی برای طول ورودی در جریان متلاطم داخل مجراست که دو پژوهشگر مختلف برایم فرستادند. یک مسئله جدید در توصیف جریان در پیل سوختی اضافه شده است. عکس ابتدای فصل که خط لوله سراسری آلاسکا را نشان می‌دهد، زمینه مناسب برای ارائه چندین مسئله نو، شامل مسئله‌ای مربوط به خط لوله گاز پیشنهادی آلاسکا-کانادا را فراهم کرد.

در فصل ۷ توصیف بهتری از جریان متلاطم در اطراف صفحه تخت، به‌علاوه مروری تازه بر پیشرفت در زمینه مدل‌سازی تلاطم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی ارائه شده و دو پیشرفت جدید در آئوردینامیک گزارش داده شده است. طراحی مجدد برگه هواپر کلاین-فولگمن توسط فینایش-ویدرسون، و افزایش زاویه واماندگی با مدل‌سازی براساس پاره‌های وال کوژ پشت. براساس اتومبیل پرنده جدید موسوم به ترانزیشن، که نخستین پرواز موفقیت‌آمیز خود را در سال ۲۰۰۹ انجام داد، تعدادی مسئله خوب طرح شد. براساس دو عکس دیگر، مرد موشکی بر فراز آلپ، و کشتی باری که نیروی پیشروان آن توسط کایت تأمین می‌شود نیز مسئله‌های جدیدی طرح شد.

فصل ۸ اساساً تغییری نکرده، و فقط درباره نرم‌افزار مدرن CFD کمی بیش‌تر بحث شده است. اتومبیل پرنده، که در فصل ۷ شرح داده شد، در این فصل با استفاده از نظریه آئوردینامیک، شامل نیروی پس‌آروداشته، تحلیل شده است. فصل ۹ بازنگری شده است. شکل ۹-۷ با برازش منحنی سی‌ساله خود برای نسبت سطح، جای خود را به منحنی‌هایی با شبکه‌بندی ظریف برای خواص تغییر سطح داده است. برازش منحنی حذف شده و عدد‌های ماخ به‌خوبی از شکل ۹-۷ و نرم‌افزارهای اکسل یا EES تبعیت می‌کنند. در روندهای جدید در فضاوردی، هواپیما با موتور اسکرمجت مطرح می‌شود که خود مولد چندین مسئله جدید است. داده‌های مربوط به خط لوله پیشنهادی آلاسکا-کانادا برای انتقال گاز طبیعی نیز موجب پیدایش نگرشی متفاوت به خفگی اصطکاکی شده است.

فصل ۱۰ تغییر اساسی نکرده، و فقط چند عکس جدید از جهش هیدرولیکی دایره‌ای و صفحه‌ای، به‌علاوه عکسی از اشتراک کشندی، همراه با مسئله‌های مربوط به آن‌ها، به این فصل اضافه شده است.

بخشی در باب عملکرد توربین‌های گازی و کاربرد آن‌ها در موتورهای توربوفن هواپیما به فصل ۱۱ افزوده شده و بخش مربوط به توربین‌های بادی با تصاویر و داده‌های جدید روزآمد شده است. اتومبیلی که توان خود را از توربین بادی می‌گیرد، و می‌تواند مستقیماً رو به باد حرکت کند، الهام‌بخش چند مسئله جدید در این فصل است.

پیوست (الف) شامل داده‌های جدیدی در مورد جدول حجمی مایعات مختلف است. پیوست (ب)، با عنوان جدول‌های جریان تراکم‌پذیر، با بزرگ‌تر کردن نمودر رینولدز (۱/۰) کوتاه‌تر شده است. جدول‌هایی با نمونه‌های بسیار کوچک‌تر در وب‌گاه کتاب www.mhhe.com/white7e ارائه شده‌اند. پیوست (ه) که آشنایی با نرم‌افزار EES بود، حذف شده و به وب‌گاه کتاب انتقال یافته است؛ از لحاظ نظری، اکنون اغلب دانشجویان با این نرم‌افزار آشنا هستند. مدرسانی که از نسخه SI این کتاب استفاده می‌کنند، می‌توانند راهنمای حل مسائل کتاب را با قالب PDF، همراه با تعدادی اسلاید پاورپوینت دریافت کنند. راهنمای حل مسائل شامل حل کامل و تفصیلی، صورت مسائل، تصاویر و مسئله‌های آخر فصل است.