



فرمولاسیون دیفرانسیلی پدیدہ جریان سیال

مؤلف:

مهندس حسین جبار

عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر فرهاد شهرکی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

www.ketab.ir

سرشناسه: جبار، حسین

عنوان و نام پدیدآور: فرمولاسیون دیفرانسیلی پدیده جریان سیال / مؤلفان حسین جبار، فرهاد شهرکی.

وضعیت نشر: مشهد: مرنديز، ۱۳۹۰ [با همکاری] معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان.

مشخصات ظاهري: ۲۴۰ ص: مصور، جدول، نمودار .

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۴۵-۲۲-۹

وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه

فروست: دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره نشر ۴۷

موضوع: سیالات - مکانیک

شناسه افزوده: شهرکی، فرهاد ۱۳۴۵-

شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان، معاونت پژوهشی.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۰ ج۲ ق۴/۲/۴۵ QC

رده‌بندی دیویی: ۵۳۲

شماره کتابشناسی ملی: ۲۲۹۵۵۴۰



مطبعه پارس و پرنس
با همکاری انتشارات مرندیز

فرمولاسیون دیفرانسیلی پدیده جریان سیال

مؤلفان:

مهندس حسین جبار
دکتر فرهاد شهرکی
ویراستار علمی: دکتر داود محبی کلهری

چاپ: کتیه

نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۰

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۴۵۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۴۵-۲۲-۹

مرکز پخش: تهران: پارسیان، تلفن: ۶۶۹۶۴۱۶۴-۲۱

نشانی سایت اینترنتی: www.marandiz.com

فهرست مطالب

د	پیشگفتار
۱	فصل اول - معادله‌ی پیوستگی
۱	فرمولاسیون دیفرانسیلی
۲	انواع مشتقات نسبت به زمان $\partial/\partial t$ ، d/dt و D/Dt
۲	الف- مشتق جزئی $\partial/\partial t$ (Partial Derivative)
۳	ب- مشتق کلی d/dt (Total Derivative)
۴	ج- مشتق مادی D/Dt (Substantial Derivative)
۶	قانون بقاء جرم- معادله پیوستگی (Condinuity Equation)
۱۰	معادله پیوستگی برای سیالات تراکم ناپذیر (Incompressible Fluids)
۱۳	فصل دوم - معادله حرکت جریان سیال (معادله ناویه-استوکس)
۱۳	کمیت‌های اسکالر، برداری و تانسوری
۱۴	نیروهای سطحی و کالبدی (Surface and Body Forces)
۱۸	تنش در یک نقطه از سیال
۱۸	حالت ۱- سیال ساکن و یا دارای حرکت یکنواخت است
۱۹	حالت ۲- سیال غیر ویسکوز در حال حرکت
۲۰	حالت ۳- حرکت سیال ویسکوز
۲۳	برخی از خواص مهم تانسور تنش
۲۸	گرادیان فشار (Gradient of Pressure)
۳۲	قانون دوم نیوتن - معادله اوایلر
۳۳	انتگرال گیری از معادله اوایلر در حالت جریان پایدار

۳۶	معادله برنولی در جریان غیر چرخشی (Irrational Flow)
۳۸	معادله ناویه-استوکس (Navier- Stokes)
۴۱	تنش‌های برشی
۴۴	تنش‌های نرمال
۴۸	ساده‌سازی معادلات حرکت
۴۹	۱- برای سیالات با دانسیته و ویسکوزیته ثابت
۴۹	۲- در حالتی که جملات شتاب در معادله ناویه-استوکس قابل اغماض اند
۴۹	۳- هنگامیکه نیروهای ویسکوز قابل چشم پوشی هستند
۵۰	جداول معادلات حرکت و تنش‌های برشی و نرمال
۵۰	معادله حرکت در مختصات کارتزین x, y و z
۵۱	معادله حرکت در مختصات استوانه‌ای r, θ و z
۵۲	معادله حرکت در مختصات کروی r, θ, ϕ
۵۳	مولفه‌های تانسور تنش سیالات نیوتونی در مختصات کارتزین x, y و z
۵۳	مولفه‌های تانسور تنش سیالات نیوتونی در مختصات استوانه‌ای r, θ و z
۵۴	مولفه‌های تانسور تنش سیالات نیوتونی در مختصات کروی r, θ و ϕ
۵۵	فصل سوم- جریان آرام سیالات نیوتونی در مختصات کارتزین و استوانه‌ای
۵۶	الف- جریان آرام سیالات نیوتونی در مختصات کارتزین
۸۱	ب- جریان آرام سیالات نیوتونی در مختصات استوانه‌ای
۹۹	ج- جریان ناپایدار (Unsteady Flow) سیالات نیوتونی و تراکم ناپذیر

فصل چهارم- حل چند مسئله متنوع یک بعدی از جریان سیال نیوتونی در

۱۷۳	فصل پنجم - لایه مرزی هیدرودینامیکی
۱۷۳	جریان خارجی سیال ویسکوز و تراکم‌ناپذیر
۱۷۵	مفهوم لایه مرزی
۱۷۹	ضخامت لایه مرزی
۱۸۱	ساده سازی معادلات ناویه - استوکس برای یک لایه بسیار نازک
۱۸۶	معادلات لایه مرزی ساده شده برای جریان آرام - معادله بلازیوس (Blasius' Equation)
۱۹۵	حل معادله بلازیوس
۲۰۷	معادله انتگرال ممنتوم فون کارمن (Von Karman) و اصطکاک پوسته‌ای
۲۲۱	ضخامت ممنتومی (Momentum Thickness)
۲۲۹	مراجع

پیشگفتار

مکانیک سیالات و انتقال حرارت از دروس بنیادی مهندسی شیمی و مهندسی مکانیک است. اهمیت پدیده جریان سیال صرفاً به خاطر پدیده جریان و انتقال منتوم نیست. بلکه نقش اساسی جریان سیال بر روی پدیده‌های انتقال حرارت و انتقال جرم است. بدون شناخت و درک عمیق پدیده جریان سیال، درک عمیق این پدیده‌ها و تجزیه و تحلیل اغلب فرایندها مقدور نخواهد بود.

اینجانبان پس از دو دهه تدریس دروس مکانیک سیالات و انتقال حرارت به دلیل کمبود منابع فارسی و نیز آشنایی با نیازهای مبرم دانشجویان مهندسی شیمی و مهندسی مکانیک در دوره کارشناسی، تصمیم به تألیف کتابی تحت عنوان «فرمولاسیون دیفرانسیلی پدیده جریان سیال» گرفتیم. تا علاوه بر رفع نیازهای دانشجویان کارشناسی، برای دانشجویان دوره کارشناسی ارشد نیز قابل استفاده باشد. قبلاً بخشی از این کتاب به صورت جزوه در اختیار دانشجویان قرار گرفته بود که پس از افزودن فصول جدید و تدوین مطالب به صورت نوشته حاضر درآمده است. امید است که گاهی هر چند ناچیز در کمک به دانشجویان عزیز برداشته باشیم. در این اثر بر روی مفاهیم ریاضی و فیزیکی نظیر انواع مشتقات، گرادیان فشار، دیورژانس، کمیت‌های اسکالر، برداری و تانسوری، تنش‌های برشی و نرمال، کرنش، سیستم دیفرانسیلی و حجم کنترل دیفرانسیلی تأکید شده است. تا در بدست آوردن معادلات پیوستگی و معادله ناویه-استوکس و ارائه مفهوم لایه مرزی و حل آن زمینه‌های لازم و ضروری فراهم گردد. در حل مثال‌ها سعی گردیده است حل مسائل از ساده به مشکل مرتب شود. ضمن حل مثال‌ها، مسائلی با هندسه جریان مشابه و عوامل حرکت یکسان با یکدیگر مقایسه شده‌اند تا دانشجو به این امر مهم پی‌برد که در این مسائل معادله حرکت یکسان است و تفاوت آنها در شرایط مرزی است که بر روی ثابت‌های جواب معادله دیفرانسیل تأثیری می‌گذارد. بدین ترتیب دانشجو یکبار دیگر درک ملموس‌تر و موثرتری از مفاهیم ریاضی معادله دیفرانسیل، جواب معادله دیفرانسیل و ثابت‌های جواب پیدا می‌کند. در مثال‌ها ابتدا عوامل حرکت مانند گرادیان فشار، جاذبه ثقلی و نیروی برشی به صورت مجزا و مستقل بررسی گردیده‌اند و سپس مسائلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند که عوامل حرکت متفاوت به صورت همزمان

حضور دارند بدین ترتیب ضمن تأکید بر روی پدیده جریان، روش و زمینه‌ای جهت فرمولاسیون دیفرانسیلی پدیده‌های هدایت گرما و نفوذ جرم را فراهم می‌آورد.

در فصل اول معادله پیوستگی در مختصات کارتزین برای یک حجم کنترل دیفرانسیلی ارائه گردیده است. در فصل دوم با نوشتن قانون دوم نیوتون برای یک سیستم دیفرانسیلی، معادله حرکت در حالت کلی بدست آمده است که برای سیالات نیوتونی و غیرنیوتونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس با توجه به فرضیات به عمل آمده، معادله بسیار مهم ناویه-استوکس بدست آمده است.

در فصل سوم جریان آرام سیالات نیوتونی در مختصات کارتزین و استوانه ای برای جریان‌های یک بعدی پایدار و یک بعدی ناپایدار بررسی می‌شود. در تعدادی از مسائل هر دو روش موازنه ممنتوم و ساده‌سازی معادله ناویه-استوکس برای رسیدن به معادله حرکت به کار رفته‌اند. در این فصل همه شرایط مرزی، ضمن مثال‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند و حل مسائل همراه با جزئیات و توضیح کافی می‌باشد.

در فصل چهارم مسائل متنوعی آمده است که به منظور پرهیز از طولانی شدن این فصل، حل مسائل در مقایسه با فصل قبل به صورت مختصرتری ارائه گردیده است. یادآوری می‌شود که مسائل این فصل از آزمون‌های پایان ترم دانشگاه سیستان و بلوچستان برگزیده شده‌اند. این مسائل با مثال‌های فصل قبل متفاوت‌اند و هر کدام دارای نکته مهم و آموزنده هستند.

در فصل پنجم مفهوم لایه مرزی و اهمیت آن در مطالعه جریان سیال مورد بررسی قرار گرفته است. برای بدست آوردن معادلات حاکم بر لایه مرزی، روش مقایسه مرتبه بزرگی جملات ناویه-استوکس به کار رفته است. نحوه رسیدن به معادله لایه مرزی بر حسب متغیرهای بدون بعد و سپس حل دقیق آن ارائه گردیده است. در پایان روش حل انتگرالی فون کارمن و مقایسه نتایج حاصله از آن با نتایج حل دقیق بلازیوس آورده شده است.

در پایان از خوانندگان کتاب خواشمندیم خطاها و کاستی‌ها را به اطلاع اینجانبان برسانند تا در اولین فرصت نسبت به رفع نقایص اقدام گردد.

حسین جبار و فرهاد شهرکی

اعضای هیات علمی گروه مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان