



جریان سیال تراکم ناپذیر

(هیدروآثرودینامیک کاربردی)

تألیف:

منوچهر راد

استاد بازنشسته دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف و استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
و واحد جنوب تهران

محسن قدیانی

عضو هیئت علمی گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری

سرشناسه : راد، منوچهر، ۱۳۱۳ -
عنوان و نام پدیدآور : جویان سیال تراکم ناپذیر (هیدروآیرو دینامیک کاربردی) / تألیف
منوچهر راد، محسن قدیانی
مشخصات نشر : تهران: آوای دانش گستر، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری : ۳۳۶ ص: مصور.
شابک : ۷۳-۷۲-۲۵۵۷-۹۶۴-۹۷۸-۹۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت : واژه نامه.
موضوع : سیالات - - دینامیک
شناسه افزوده : قدیانی، محسن، ۱۳۵۶ -
رده بندی کنگره : ۱۳۹۰ ج ۲ / ۹۱۱ / ۵۸
رده بندی دیویی : ۶۲۹ / ۱۳۲ / ۳۳
شماره کتابشناسی ملی : ۲۶۷۲۵۸۲

www.avavee.ir

نام کتاب:	جویان سیال تراکم ناپذیر (هیدروآیرو دینامیک کاربردی)
گردآوری و تألیف:	منوچهر راد - محسن قدیانی
ناشر:	آوای دانش گستر
مدیر مسئول:	کامیار شیراوند
حروفچینی و صفحه آرایی:	نویسندگان
مدیر اجرایی و ناظر چاپ:	مجتبی سوری
لیتوگرافی:	امید گرافیک
نوبت و سال چاپ:	اول ۱۳۹۰-۹۱
چاپ و صحافی:	کهنمونی زاده
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
شابک:	۷۳-۷۲-۲۵۵۷-۹۶۴-۹۷۸-۹۰۰۰۰
بها:	۹۰۰۰ تومان

نشانی: خ انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، بین خ ۱۲ فروردین و فخر رازی،

ساختمان ظروفچی، طبقه دوم، واحد پنج

تلفن: ۶۶۴۱۸۶۳۱ - ۶۶۴۸۳۰۳۰

کلیه حقوق برای مؤلف محفوظ است و هر گونه تکثیر به هر شکل
بدون اجازه ناشر و مؤلف ممنوع می باشد و پیکیرد قانونی دارد.

پیشگفتار

مکانیک سیالات به عنوان یکی از قدیمی‌ترین شاخه‌های علم فیزیک، اساس درک بسیاری از علوم کاربردی و مهندسی بوده و در ارتباط با حرکت جریان و تعادل سیالات، تحقیق و بررسی می‌کند. این علم شامل پایه موضوعی «هیدرودینامیک و آنروودینامیک» و جریان سیال تراکم‌ناپذیر و تراکم‌پذیر می‌باشد. به علاوه بسیاری از علوم به ویژه بیولوژی، مهندسی پزشکی، فیزیک سماوی، فیزیک پلاسما، اقیانوس شناسی و شیمی- فیزیک را شامل می‌شود. هیدرودینامیک مربوط به جریان مایعات، به ویژه آب، می‌شود و بیشتر، جنبه‌های تئوری این جریان را بررسی می‌کند. مشابه این بررسی برای جریان هوا در سرعت‌های پایین، در علمی تحت عنوان آنروودینامیک زیر صوتی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

از قرن نوزدهم که هیدرولیک به صورت یک علم در مهندسی عمران (سیویل)¹ و آرشینکت کشتی عنوان شد، دامنه مکانیک سیالات به طور مداوم در مهندسی گسترش یافته است. توسعه مهندسی هوا فضا (آنروناتیک)²، مکانیک و بیوشیمی در دهه‌های گذشته از یک طرف و جستجوهای علمی در فضا در نیم قرن گذشته از طرف دیگر، بویایی بسیار زیادی در مکانیک سیالات به وجود آورده است، به طوری که در حال حاضر به عنوان یکی از عناوین بسیار مهم و پایه‌های اصلی علوم می‌باشد. تحقیقات جدید بخش دینامیک سیالات، به مسائلی چون پرواز در سرعت‌های بسیار بالا (سرعت‌های ابرصوتی)، هیدرودینامیک مغناطیسی، پیش بینی چند روزه و هفته‌ای هوا و جریان خون در قلب، رگها و مویرگ‌ها و ... گسترش یافته است. همچنین در بسیاری از موارد لازم است که این علم، توأم با دانشی بر علوم دیگر مانند ترمودینامیک، انتقال حرارت، بیولوژی و پزشکی باشد. علاوه بر علوم ذکر شده، مکانیک سیالات با بسیاری از تجربیات روزانه ما سروکار دارد، نفسی که فرو می‌بریم و باز دم آن، پرواز پرندگان و حشرات در هوا، حرکت ماهی‌ها و موجودات آبی در دریا همه از قوانین مکانیک سیالات تبعیت می‌کنند. فرم بدن یک قهرمان اسکی هنگام پرش، پرتاب دیسک و یا زدن ضربه بر توپ توسط ورزشکاران با قوانین مکانیک سیالات قابل تجزیه و تحلیل بوده و می‌توان از آن برای مهارت بیشتر استفاده کرد.

در مهندسی، بررسی تمام ماشین آلات، دستگاه‌ها و ساختمان‌هایی که در رابطه با سیال، مخصوصاً آب و هوا عمل می‌کنند مثل پمپ، توربین، هواپیما، موشک، کشتی، بندر، کانال، سد و خطوط انتقال

¹ Civil Engineering

² Aeronautic

مایع و گاز در لوله‌ها و تجزیه و تحلیل جریان در موتور و مبدل‌های حرارتی و طرح وسایل حمل و نقل و مسافرت هوایی و دریایی حتی حمل و نقل زمینی بستگی به تئوری‌های مکانیک سیالات دارد. شاید روزی فرا رسد که حتی بتوان به طور دقیق اتفاقاتی مانند سیل، طوفان و گردباد و وضع دراز مدت آب و هوا را به کمک علم مکانیک سیالات پیش بینی و یا حتی تنظیم کرد.

بنابر آنچه گفته شد، می‌توان مکانیک سیالات را یک مبحث گسترده، مهیج و جذاب دانست که دارای کاربرد نامحدودی در دنیای امروز، از سیستم‌های میکروسکوپی و بیولوژی گرفته تا مباحث مربوط به اتومبیل، هواپیما و پشران‌های فضایی است. از نظر آموزشی، تجربه نشان داده که مکانیک سیالات یکی از پرچالش‌ترین موضوعات برای دانشجویان است. برخلاف دروس سالهای ابتدایی رشته‌های مهندسی که اغلب دانشجویان می‌آموزند که اعداد و داده‌ها را در روابط خاصی جایگذاری و محاسبه نمایند تا به نتیجه برسند، در دروس سیالاتی، تحلیل مسائل مستلزم کارهای بسیار بیشتری است. در مواجهه با یک مسئله سیالاتی، دانشجویان باید ابتدا مسئله را بررسی کرده و فرضیات ساده کننده و لازم را در نظر گیرند، سپس روابط فیزیکی مربوط به آن پدیده را انتخاب و به محاسبات تحلیلی و عددی پردازند. بسیاری از مسائل سیالاتی نیازمند اطلاعات دیگری به غیر از فیزیک سیالات هستند و به درک فیزیکی خاص و تجربه حل مسائل مشابه محتاج می‌باشند. با وجود اینکه کتابهای بسیاری با عناوین مکانیک سیالات، دینامیک سیالات، هیدرودینامیک، هیدرولیک، آترودینامیک و... به زبانهای انگلیسی و فارسی تألیف شده‌اند ولی اغلب این کتاب یا به صورت کاملاً تئوری بوده، یا فقط زمینه‌های خاص علوم کاربردی را شامل می‌گردند و یا اینکه مطالب آن فقط به صورت مطالعات و روابط تجربی بیان شده‌اند. بنابراین با توجه به سوابق تدریس مولفان، در موضوعات و زمینه‌های یاد شده، به نظر می‌رسید کتابی جامع و نسبتاً ساده و قابل فهم که اصول علم سیالات و کاربردهای آن را بیان کند و دارای حجمی مناسب جهت تدریس به عنوان یک درس در سطوح متوسط و متناسب با اکثر زمینه‌های مهندسی باشد وجود ندارد. لذا مولفان تصمیم گرفتند که بر اساس تجربیات و جزوه‌های درسی خود و به‌ویژه جزوه‌های درسی مولف اول که حاصل تجربیات سی ساله تدریس و دست نوشته‌های این دوران بوده است، این کتاب را به تحریر درآوردند. نتیجه، این کتابی است که پیش رو دارید و امید است که این اثر، مفید فایده کلیه خوانندگان قرار گیرد. البته عمده مطالب برگرفته از کارهای پیشینیان است که به مراجع آنها در انتهای کتاب اشاره شده است.

کتاب حاضر مشتمل بر ده فصل است؛ در فصول ابتدایی به مطالعه اصول اولیه دینامیک سیالات و روش تحلیل جریان و معادلات مربوط به حجم کنترل پرداخته می‌شود. در فصول بعدی، تئوری جریان سیال ایده‌آل و الگوهای این جریان مطالعه می‌گردند. در ادامه، مشخصات سیال حقیقی را که

تا حدودی آن را از سیال ایده‌آل جدا می‌سازد مطالعه می‌نماییم. با این حال در بخش عمده این کتاب به بررسی الگوهای جریان سیال ایده‌آل و روش‌های پیش‌بینی این الگوها می‌پردازیم. این مطالب باید با در نظر داشتن طبیعت سیال حقیقی مطالعه شوند، تا حدود کاربرد تئوری سیال ایده‌آل در طرح‌های عملی مشخص گردد. بنابراین، اثرات لزجت، لایه مرزی و جدایش را بطور اجمال در خلال برخی فصول مطالعه خواهیم کرد و در فصل پایانی، جریانهای غیر چرخشی سه بعدی را بطور اجمال مطالعه می‌کنیم. به طور کلی، مکانیک سیالات یک مبحث دیداری است که تفهیم مفاهیم آن مستلزم عکس‌ها و فیلم‌های آموزشی و آزمایش‌های تجربی و اطلاعات میدانی می‌باشد، لذا در این کتاب سعی شده است تا با بهره‌گیری از تعداد بسیار زیادی از شکل‌های ساده و مفید، این امر صورت گیرد. لذا در بسیاری از قسمتهای این کتاب، حجم متن برای توصیف یک مفهوم اصلی، کمتر از سایر کتب در آن زمینه است. سعی نویسندگان، این بوده است که فقط مفاهیم و روابط مهم و لازم با شکل‌های ساده، با پرهیز از زیاده‌گویی و توضیحات حاشیه‌ای برای استفاده و درک راحت‌تر دانشجویان و علاقمندان مطرح شوند. بسیاری از مباحث که نبود آنها لطمه‌ای به پیوستگی مطالب نمی‌زند و نیز جنبه‌های تاریخی از متن اصلی حذف شده و به بخش پیوسته‌ها یا تمرین‌های انتهایی هر فصل منتقل شده‌اند. این کتاب می‌تواند برای تدریس و آموزش دروس مختلفی با عناوین مکانیک سیالات پیشرفته، دینامیک سیالات، هیدرودینامیک، انرژی‌های نو و سایر موارد مشابه مورد استفاده اساتید و دانشجویان کلیه رشته‌های علوم و مهندسی در مقاطع تحصیلی دوره‌های تحصیلات تکمیلی یا سال آخر دوره کارشناسی قرار گیرد. برای استفاده بهتر از این کتاب و به منظور درک بیشتر دینامیک سیالات، لازم است که دانشجویان حداقل سه واحد، درس سیالات مقدماتی را گذرانده باشند. البته لازم به ذکر است که حتی با گذراندن بیش از چهار واحد دروس تخصصی مکانیک سیالات و گذراندن ریاضیات عالی و دروس دوره دکترای تخصصی مکانیک سیالات نیز شاید نتوان حتی قطره‌ای از اقیانوس مسائل سیالاتی را به طور کامل، تجزیه و تحلیل نمود و فقط به قول معروف «تا بدانجا رسد دانش من تا بدانم که نادانم». ولی با این حال، پس از مطالعه عمیق در زمینه‌های ذکر شده، می‌توان تعداد نسبتاً زیادی از مسائل را با دقت کافی حل کرد که منجر به طراحی‌های مهندسی بهتر خواهد شد و پیشرفتهای شگرف در فناوری و تکنولوژی را در پی خواهد داشت. همانطور که اشاره شد در پایان هر فصل این کتاب، تعدادی تمرین ارائه شده است که حل آنها برای بسط و توسعه مفاهیم خلاصه شده در متن اصلی، ضروری‌اند. این تمرین‌ها جهت ارزیابی دانش‌آموختگان از خود پس از مطالعه هر یک از فصول این کتاب در نظر گرفته شده‌اند تا دانشجویان اهتمام بیشتری در یادگیری اصول و مفاهیم اولیه کسب نمایند و همچنین قادر شوند روش به‌کار بستن اصول اولیه در

طراحی و ترکیب مسائل مختلف را تجربه کنند. این تمرین‌ها بستری را فراهم می‌سازند تا دانشجویان اعتماد به نفس لازم را برای به کار بستن اصول اولیه در حل مسائل واقعی کسب نمایند و از این کاربردها مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های طراحی، پایه‌ریزی کنند. بدون شک، حل این تمرین‌ها به شناخت عمیق‌تر اصول اولیه کمک خواهد کرد.

در پایان لازم است از کلیه عزیزانی که در این راه، ما را یاری کردند و خانواده‌هایمان که در تمام این مدت، مشوق ما بودند، مراتب قدردانی و سپاس را به عمل آوریم. در مراحل مختلف تهیه و تکمیل این کتاب تعداد زیادی از دانشجویان مهندسی مکانیک در سالهای مختلف، کمک نموده‌اند که لازم می‌دانیم از همه این عزیزان تشکر نماییم. همچنین از سرکار خانم مونا میرزایی، طراح صنعتی که عهده‌دار طراحی برخی شکل‌ها و طرح روی جلد کتاب شدند قدردانی می‌کنیم.

بدون شک کتاب حاضر عاری از خطا نمی‌باشد و چون هدف نهایی‌مان وسعت اندیشه و بالابردن سطح معلومات و تجربیات دانشجویان است از اعضای محترم هیئت علمی و دانشجویان تقاضا داریم در صورت مشاهده خطا و یا داشتن پیشنهادی جهت بهبود این اثر، از طریق آدرس پست الکترونیکی زیر یا روش‌های دیگر تذکر دهند تا در چاپهای بعدی اصلاح گردد که این محبت، موجب تقدیر و سپاس خواهد بود.

منوچهر راد

محسن قدیانی

m.ghphd@gmail.com

تابستان ۱۳۹۰

فهرست مطالب

۱	فصل اول- اصول اولیه دینامیک سیالات و روش تحلیل جریان
۱	۱-۱- تعریف سیال و خواص سیال
۳	۱-۲- سیال ایده‌آل و سیال حقیقی
۴	۱-۳- مایع ، سیال غیر قابل تراکم و جریان تراکم‌ناپذیر
۵	۱-۴- معرفی روش تحلیل جریان
۶	۱-۴-۱- روش سیستم و روش میدان
۶	۱-۴-۲- دیدگاه اویلری و دیدگاه لاگرانژی
۷	۱-۵- تحلیل دیفرانسیلی جریان سیال
۹	۱-۶- بحث در برخی شرایط مسئله
۱۰	۱-۷- رابطه قانون دوم نیوتن در امتداد عمود بر خط جریان
۱۲	۱-۸- آنالیز دیفرانسیلی المان سیال
۱۲	۱-۸-۱- سرعت و شتاب میدان جریان
۱۴	۱-۸-۲- حرکت خطی و تغییر طول المان (تغییر حجم)
۱۵	۱-۸-۳- چرخش (دوران)
۱۸	۱-۸-۴- تغییر شکل زاویه‌ای (گرنش برشی) و نرخ تغییر شکل زاویه‌ای (نرخ گرنش برشی)
۲۰	تمرین‌های فصل اول
۲۲	فصل دوم- معادلات بقاء برای حجم کنترل
۲۲	۲-۱- حالت کلی
۲۳	۲-۲- بقاء جرم
۲۳	۲-۲-۱- رابطه پیوستگی به صورت دیفرانسیلی
۲۵	۲-۲-۲- تابع جریان
۲۹	۲-۳- قانون بقای اندازه حرکت خطی (معادله کوشی)
۳۰	۲-۳-۱- جریان غیر لزج، جریان غیر چرخشی

۳۱	۲-۳-۲- معادلات اوילر
۳۲	۲-۳-۳- رابطه برنولی در میدان جریان غیر چرخشی
۳۳	۲-۴- مفهوم فیزیکی جریان غیر چرخشی
۳۵	۲-۵- تابع پتانسیل سرعت
۳۸	تمرین‌های فصل دوم

فصل سوم- جریان سیال ایده‌آل و جریان پتانسیل..... ۴۱

۴۱	۳-۱- مقدمه
۴۲	۳-۲- معادله اويلر در سیستم مختصات خط جریانی
۴۳	۳-۳- جریان پتانسیل دو بعدی روی صفحه تخت
۴۳	۳-۳-۱- روش ترسیمی شبکه جریان
۴۷	۳-۳-۲- شبکه جریان برای نفوذ سیال در محیط متخلخل
۴۸	۳-۳-۱-۲- جریان در محیط محدود به جدار غیر قابل نفوذ
۵۰	تمرین‌های فصل سوم

فصل چهارم- الگوهای ساده جریان در جریان سیال پتانسیل روی صفحه تخت... ۵۲

۵۲	۴-۱- جریان یکنواخت
۵۳	۴-۲- چشمه و چاه دو بعدی
۵۶	۴-۳- ورتکس آزاد یا ورتکس غیر چرخشی
۵۸	۴-۳-۱- گردآب و گردباد طبیعی
۵۹	۴-۳-۲- تغییرات سواحل و کف رودخانه در خم
۶۰	۴-۴- مفهوم ریاضی سیرکولاسیون
۶۱	۴-۵- ورتیسیتی
۶۲	۴-۶- دوپلت (دوقلو)
۶۲	۴-۶-۱- ترکیب چشمه و چاه
۶۳	۴-۶-۲- تعریف دوپلت (دوقلو)
۶۵	تمرین‌های فصل چهارم

۶۷	فصل پنجم - ترکیب جریان‌های ساده
۶۷	۱-۵- ترکیب ترسیمی جریان یا جمع گرافیک الگوهای جریان
۶۸	۲-۵- ترکیب ورتکس غیرچرخشی و چاه (ورتکس مارپیچی)
۶۹	۳-۵- ترکیب چشمه و جریان یکنواخت (جریان حول نیم بدنه)
۷۱	۴-۵- بیضی رانکین
۷۴	۵-۵- جریان حول استوانه با مقطع دایره
۷۶	۶-۵- جریان حقیقی اطراف استوانه
۷۸	۷-۵- الگوی جریان استوانه متحرک در سیال ساکن
۷۹	۸-۵- جریان اطراف استوانه با سیرکولاسیون
۸۴	تمرین‌های فصل پنجم
۹۱	فصل ششم - مقدمه‌ای بر جریان سیال حقیقی و معادلات ناویر-استوکس
۹۱	۱-۶- معادله حرکت و بررسی نیروهای وارد بر المان سیال
۹۲	۲-۶- انواع نیروهای وارد بر المان سیال
۹۶	۳-۶- تنش‌های وارد بر یک المان سیال
۹۷	۴-۶- معادله حرکت
۹۹	۵-۶- معادلات حرکت در جریان سیال نیوتنی (حقیقی)
۱۰۲	۶-۶- معادلات ناویر استوکس
۱۰۲	۱-۶-۶- رابطه بین تنش و نرخ کرنش
۱۰۳	۲-۶-۶- به‌دست آمدن معادلات ناویر استوکس از معادلات حرکت در جریان تراکم‌ناپذیر
۱۰۷	تمرین‌های فصل ششم
۱۱۰	فصل هفتم - توابع مختلط تحلیلی و جریان پتانسیل دو بعدی در صفحه تخت ...
۱۱۰	۱-۷- مقدمه
۱۱۱	۲-۷- خلاصه‌ای درباره توابع مختلط و کاربرد آن در جریان سیال
۱۱۳	۳-۷- سرعت مختلط
۱۱۵	۴-۷- تبدیل معکوس

۱۱۶	۵-۷- تبدیلات متوالی (چند مرحله)
۱۱۷	۶-۷- روابط انتقال ساده
۱۱۷	۱-۶-۷- جریان یکنواخت
۱۱۹	۲-۶-۷- چشمه یا چاه
۱۲۰	۳-۶-۷- ورتکس
۱۲۰	۴-۶-۷- ورتکس ماریچی
۱۲۱	۵-۶-۷- دوبلت
۱۲۲	۶-۶-۷- ترکیب چشمه و چاه
۱۲۲	۷-۶-۷- جریان به داخل یک کانال
۱۲۳	۸-۶-۷- جریان در شکاف
۱۲۴	۹-۶-۷- جریان در یک زاویه
۱۲۶	۱۰-۶-۷- جریان حول استوانه بدون سیرکولاسیون
۱۲۶	۱۱-۶-۷- جریان حول استوانه با سیرکولاسیون
۱۲۷	۷-۷- روش تصویر آینه‌ای
۱۳۱	تمرین‌های فصل هفتم

فصل هشتم- انتقال دایره ۱۳۵

۱۳۵	۱-۸- ایده کلی
۱۳۶	۲-۸- تعریف تصویر یک نقطه
۱۳۶	۳-۸- تعریف نقطه معکوس و انتقال دایره
۱۳۷	۴-۸- رسم تابع تبدیل یا کوفسکی به صورت گرافیکی
۱۳۸	۵-۸- جریان موازی با یک صفحه تخت نازک
۱۳۸	۶-۸- جریان عمود بر صفحه تخت
۱۴۱	۷-۸- جریان حول یک بیضی
۱۴۳	۸-۸- جریان حول جسم خط جریانی متقارن دو بعدی
۱۴۴	۹-۸- جریان حول کمانی از دایره
۱۴۸	۱۰-۸- جریان حول یک ایرفویل یا هیدروفویل نامتقارن
۱۵۰	تمرین‌های فصل هشتم

۱۵۳	فصل نهم - ایرفویل و هیدروفویل
۱۵۳	۱-۹ اصطلاحات در ایرفویل ها و هیدروفویل ها
۱۵۶	۲-۹ پروفیل های ایرفویل و هیدروفویل نازک
۱۵۹	۳-۹ شرط کوتا
۱۶۰	۴-۹ جریان پتانسیل و حقیقی اطراف یک ایرفویل یا هیدروفویل
۱۶۱	۱-۴-۹ جریان پتانسیل اطراف پروفیل یا کوفسکی با زاویه حمله
۱۶۴	۲-۴-۹ جریان پتانسیل معادل جریان حقیقی اطراف ایرفویل و هیدروفویل با زاویه حمله
۱۷۱	۳-۴-۹ تحلیل نیروها در ایرفویل و هیدروفویل
۱۷۶	۵-۹ اثرات محدود بودن پهنای ایرفویل یا هیدروفویل
۱۷۷	۱-۵-۹ اثر نسبت منطری در ایرفویل و هیدروفویل با پهنای محدود
۱۷۹	۲-۵-۹ پسای القایی و کاهش نیروی برآ در ایرفویل و هیدروفویل با پهنای محدود
۱۸۰	۳-۵-۹ جریان ردیف بی نهایت ورتکس
۱۸۲	۴-۵-۹ تشبیه ورقه ورتکس به ایرفویل یا هیدروفویل
۱۸۳	۵-۵-۹ تئوری خط برآزا
۱۸۸	۶-۹ اثرات لزجت (ویسکوزیته)
۱۸۸	۱-۶-۹ اثر لزجت بر ضریب پسا
۱۹۰	۲-۶-۹ اثر لزجت بر ضریب برآ
۱۹۱	۷-۹ اثر کاویتاسیون
۱۹۱	۱-۷-۹ تعریف کاویتاسیون
۱۹۳	۲-۷-۹ پدیده کاویتاسیون در هیدروفویل ها
۱۹۵	۸-۹ اثر زبری
۱۹۶	۹-۹ اثر بالچه
۱۹۸	۱۰-۹ اثرهای دیگر
۲۰۰	تمرین های فصل نهم

۲۰۷	فصل دهم - جریان سه بعدی غیر چرخشی
-----	---

۲۰۷	۱-۱۰ جریانهای سه بعدی متقارن محوری
-----	------------------------------------

۲۰۸	۱-۱-۱۰- تابع پتانسیل جریان‌های ساده متقارن محوری
۲۱۰	۱-۲-۱۰- به‌دست آوردن توابع جریان ساده
۲۱۰	۱-۲-۱۰- جریان یکنواخت سه بعدی
۲۱۲	۱-۲-۲- چشمه و چاه نقطه‌ای سه بعدی
۲۱۳	۱-۲-۳- دوقطبی (دوبلت) سه بعدی (نقطه‌ای)
۲۱۴	۱-۳- توأم کردن جریان‌های متقارن محوری
۲۱۴	۱-۳-۱- ترکیب جریان یکنواخت و چشمه نقطه‌ای (سه بعدی)
۲۱۶	۱-۳-۲- ترکیب جریان یکنواخت و جریان دوبلت
۲۱۶	۱-۳-۳- حرکت دارد
۲۱۹	۱-۳-۳-۲- جریان غیر چرخشی اطراف کره متحرک نسبت به ناظر ثابت
۲۲۱	۱-۳-۳-۳- ترکیب جریان یکنواخت و چشمه و چاه
۲۲۳	۱-۳-۴- ترکیب بینهایت چشمه (چاه) نقطه‌ای - خط چشمه (چاه) سه بعدی
۲۲۴	۱-۳-۵- ترکیب چشمه نقطه‌ای، خط چاه سه بعدی و جریان موازی
۲۲۸	تمرین‌های فصل دهم
۲۳۲	تمرین‌های تکمیلی
۲۴۴	پیوست الف- اشاره‌ای به تئوری لایه مرزی در جریان سیال لزج
۲۵۵	پیوست ب- مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی و تولید شبکه
۲۶۶	پیوست ج- معادله‌های حرکت سیال نیوتنی در مختصات استوانه‌ای و کروی
۲۷۰	پیوست د- خطوط جریان، خطوط مسیر و خطوط اثر
۲۷۴	پیوست هـ- خواص فیزیکی برخی سیالات متداول
۲۷۷	پیوست و- زندگی‌نامه برخی مشاهیر مکانیک سیالات و هیدروآیرودینامیک
۳۰۱	واژه نامه (فارسی به انگلیسی)
۳۰۶	واژه نامه (انگلیسی به فارسی)
۳۱۱	واژه یاب
۳۱۶	فهرست منابع و مراجع