

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

مکانیک سیالات

تالیف

دکتر محمدسعید سیف

(استاد دانشگاه صنعتی شریف)



سرشناسه	سیف، محمدسعید، ۱۳۴۵-
عنوان و نام پدیدآور	مکانیک سیالات / مولف محمدسعید سیف
مشخصات نشر	تهران: فدک ایستاتیس، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	۵۶۸ ص. : جدول، نمودار.
شابک	۲۰۰۰۰ ریال : ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۰-۰۸۹-۰
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	سیالات -- مکانیک
رده بندی کنگره	۱۳۹۱ ت۵ ۴/۵۳ T۸۳۴۶/۴
رده بندی دیویی	۶۲۰/۱۰۶
شماره کتابشناسی ملی	۲۷۷۲۰۳۴

مکانیک سیالات



تألیف	محمدسعید سیف
مدیر تولید	رضا کرمی شاهنده
صفحه آرای	واحد تولید انتشارات فدک ایستاتیس (مریم یوزباشی)
نوبت چاپ	اول - ۱۳۹۱
تیراژ	۵۰۰
چاپ و صحافی	کنج شایگان
قیمت	۲۰۰۰۰ ریال
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۰-۰۸۹-۰

دفتر انتشارات	تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین بانی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰
تلفن:	۶۶۴۸۲۲۲۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۶۵۸۳۱
نمایندگی تهران	خیابان انقلاب - نبش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی
تلفن:	۶۶۴۰۵۳۸۵ - ۶۶۴۰۹۹۲۴
فروشگاه یزد	میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره
تلفن:	۶۲۲۶۷۷۲ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۷۴۷۵

ایمیل و وبسایت: www.fadakbook.ir - info@fadakbook.ir

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطلق یا قلمون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایستاتیس می باشد. هر گونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایستاتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات فدک ایستاتیس

پیش‌گفتار

پروردگار را شاکرم که کتاب حاضر آماده چاپ گردید. در همین ابتدا از همه دانشجویان و همکارانی که در تهیه، تدوین و تکمیل این اثر همکاری داشته‌اند تشکر می‌کنم و امیدوارم نتیجه این زحمات برای کشور مفید واقع شود.

مکانیک سیالات حوزه‌ای بسیار گسترده است که دانشجویان رشته‌های مختلف و محققین شاخه‌های متعددی نیازمند فراگیری آن هستند. در کتاب حاضر سعی شده بر پایه مقدمات معمول فیزیک، مبانی مکانیک سیالات معرفی و حوزه‌های مختلف آن تشریح شود. اگر چه کتاب‌های زیادی در این حوزه نگاشته شده و یا ترجمه گردیده، ولی هنوز هم می‌توان در هر کتابی نکته‌ای جدید و متفاوت یافت که به نظر من هر کدام از این نکات بسیار ارزنده هستند و شاید توجه و دلیلی بر تلاش‌های متعدد و فزاینده برای تدوین کتب جدید باشد. امیدوارم در کتاب حاضر نیز نوع تشریح مطالب و تجزیه و تحلیل مسائل بتواند نکات جدیدی را به توانایی‌های علمی دانشجویان و محققین عزیز اضافه نماید. همچنین پیشاپیش از توافقی احتمالی عذر خواسته و انشاءالله با تذکر صاحب‌نظران و متخصصین گرامی بتوان آنها را رفع نمود.

از اساتید خود و صاحب‌نظرانی که از محضر آنها بهره برده‌ام سپاسگزارم و همه نتایج را مرهون صبور و حمایت‌های خانواده عزیزم می‌دانم.

محمد سعید سیف

تابستان ۱۳۹۱

فهرست مطالب

مقدمه ۱

- | | |
|--------------------|-----|
| تاریخچه ۲ | ۱.۱ |
| اهداف و کاربردها ۳ | ۲.۱ |
| پیشینه‌های موضوع ۴ | ۳.۱ |

مفاهیم اساسی ۷

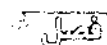
- | | |
|-------------------------|------|
| مقدمه ۸ | ۱.۲ |
| بررسی جریان ۱۱ | ۲.۲ |
| میدان سرعت ۱۳ | ۳.۲ |
| محیط پیوسته ۱۵ | ۴.۲ |
| چگالی و حجم مخصوص ۱۷ | ۵.۲ |
| تراکم‌پذیری ۱۸ | ۶.۲ |
| معادله حالت گازها ۲۱ | ۷.۲ |
| لزجت ۲۲ | ۸.۲ |
| زاویه تماس و موئینگی ۲۵ | ۱۰.۲ |
| واحدهای اندازه‌گیری ۲۸ | ۱۱.۲ |
| مثال‌های تکمیلی ۴۲ | |

استاتیک سیالات ۵۱

- | | |
|----------------------------|-----|
| مقدمه ۵۲ | ۱.۳ |
| تغییرات فشار در یک سیال ۵۳ | ۲.۳ |
| فشار نسبی ۵۶ | ۳.۳ |
| قانون پاسکال ۵۷ | ۴.۳ |

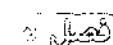
تغییرات فشار در مایعات تراکم پذیر ۶۱	۵.۳
تغییرات فشار در جو ۶۳	۶.۳
اندازه‌گیری فشار ۶۷	۷.۳
نیروهای وارد بر سطوح مسطح مغروق ۷۳	۸.۳
نیروهای هیدرواستاتیک ناشی از چند لایه سیال ۷۹	۹.۳
نیروهای هیدرواستاتیک وارد بر سطح غیرمسطح ۸۵	۱۰.۳
نیروی شناوری ۸۹	۱۱.۳
پایداری ۹۶	۱۲.۳
پایداری اجسام شناور ۹۷	۱۳.۱

حجم کنترل ۱۱۱



مقدمه ۱۱۱	۱.۴
معادله انتقال رینولدز ۱۱۳	۲.۴

معادلات اساسی حرکت سیال ۱۱۹



بقای جرم یا معادله پیوستگی ۱۲۰	۱.۵
معادله اندازه حرکت خطی ۱۲۷	۲.۵
معادله اندازه حرکت زاویه‌ای ۱۳۲	۳.۵
معادله انرژی ۱۳۵	۴.۵
ضریب تصحیح انرژی جنبشی ۱۴۱	۵.۵
معادله برنولی ۱۴۶	۶.۵
فشار دینامیکی ۱۵۰	۷.۵
دستگاه‌های مختصات شتابدار ۱۵۶	۸.۵
توزیع فشار در حجم کنترل شتابدار ۱۶۱	۹.۵

تحلیل ابعادی و تشابه ۱۸۱



مقدمه ۱۸۲	۱.۶
ابعاد و گروه‌های بدون بعد ۱۸۴	۲.۶
تعیین گروه‌های بدون بعد ۱۸۷	۳.۶
مدلسازی و تشابه ۱۹۱	۴.۶

جریان سیال در لوله‌ها ۲۰۱



انواع جریان در لوله‌ها ۲۰۲	۱.۷
اتلافات انرژی حرکت سیال در لوله‌ها ۲۰۴	۲.۷
جریان پوازوی (Poiseuille flow) ۲۰۸	۳.۷
جریان مغشوش در لوله‌ها (Turbulent flow in pipes) ۲۱۱	۴.۷
مقاطع غیر دایروی ۲۲۳	۵.۷
طول ورودی (Entrance length) ۲۲۵	۶.۷
افت‌های موضعی ۲۲۶	۷.۷
سیستم‌های اولیه‌کشی ۲۳۱	۸.۷

میدان تنش و سینماتیک جریان ۲۳۵



مقدمه ۲۳۶	۱.۸
کمیت‌های اسکالر، برداری و تانسور ۲۳۶	۲.۸
نیروی سطحی، نیروی حجمی و تنش ۲۳۷	۳.۸
تنش در یک نقطه برای سیال ساکن یا جریان غیرویسکوز ۲۳۸	۴.۸
حرکت سیال ویسکوز ۲۴۱	۵.۸
خواص تنش ۲۴۴	۶.۸
گرادیان ۲۴۶	۷.۸
دیورژانس میدان‌های برداری ۲۵۰	۸.۸
کرل (تاو) میدان‌های برداری ۲۵۱	۹.۸
میدان سرعت ۲۵۴	۱۰.۸
روش‌های بررسی جریان ۲۵۷	۱۱.۸
شتاب یک ذره ۲۵۸	۱۲.۸
آهنگ تغییر شکل ۲۶۴	۱۳.۸
حرکت و تغییر شکل خطی ۲۶۷	۱۴.۸
حرکت و تغییر شکل زاویه‌ای ۲۶۹	۱۵.۸
رابطه بین جریان غیرچرخشی و ویسکوزیته ۲۷۳	۱۶.۸

روابط دیفرانسیلی حاکم بر جریان ۲۷۷



مقدمه ۲۷۸	۱.۹
-----------	-----

بقای جرم ۲۷۸	۲.۹
قانون دوم نیوتن؛ معادله اوایلر ۲۸۲	۳.۹
مایعات تحت شتاب ثابت ۲۸۳	۴.۹
معادله برنولی ۲۸۷	۵.۹
معادله برنولی برای جریان بی‌چرخش ۲۸۹	۶.۹
قانون دوم نیوتن برای جریان‌های کلی ۲۹۰	۷.۹
معادله انرژی ۲۹۳	۸.۹
جمع‌بندی ۲۹۶	۹.۹

جریان سیال ویسکوز (معادلات ناویراستوکس ۲۹۹)



مقدمه ۳۰۰	۱.۱۰
قانون ویسکوزیته استوکس ۳۰۰	۲.۱۰
معادله‌های ناویر-استوکس ۳۰۶	۳.۱۰
جریان مولاری ۳۰۹	۴.۱۰
جریان آرام دو لایه بین صفحه‌های موازی ۳۱۱	۵.۱۰
جریان در لوله ۳۱۴	۶.۱۰
جریان سیال بین دو صفحه مولاری ثابت ۳۲۲	۷.۱۰
جریان آرام در لوله‌های با مقطع دایره‌ای ۳۳۳	۸.۱۰
جریان آرام بین دو لوله هم‌محور ۳۳۸	۹.۱۰
توزیع سرعت در جریان آشفته ۳۳۹	۱۰.۱۰
لایه مرزی ۳۴۶	۱۱.۱۰
توسعه لایه مرزی ۳۴۶	۱.۱۱.۱۰

لایه مرزی ۳۵۳



مقدمه ۳۵۴	۱.۱۱
ضخامت لایه مرزی ۳۵۵	۲.۱۱
معادلات جریان در لایه مرزی ۳۶۰	۳.۱۱
بررسی لایه مرزی آرام روی صفحه تخت ۳۶۴	۴.۱۱
معادله انتگرال اندازه حرکت فون کارمن ۳۶۸	۵.۱۱
مرحله گذار در جریان ۳۷۸	۶.۱۱
لایه مرزی منشوش ۳۸۱	۷.۱۱

بازدارندگی اصطکاک جداری ۳۸۳	۸.۱۱
تنش برشی در جریان مغشوش ۳۸۸	۹.۱۱
بازدارندگی اصطکاک جداری در لایه مرزی متلاطم برای صفحه‌های زیر ۳۹۶	۱۰.۱۱
جریان روی مرزهای خمیده ۳۹۹	۱۱.۱۱
بازدارندگی وارد بر اجسام غوطه‌ور ۴۰۲	۱۲.۱۱
ایرفویل‌ها ۴۱۴	۱۳.۱۱
پسای القایی ۴۱۹	۱۴.۱۱

جریان‌های پتانسیل



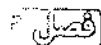
مقدمه ۴۳۶	۱.۱۲
جریان صفحه‌ای ۴۳۱	۲.۱۲
ترکیب جریان‌های صفحه‌ای ۴۳۶	۳.۱۲
جریان دو بعدی حول اجسام ۴۴۸	۴.۱۲
روش نگاشت همدیس ۴۵۹	۵.۱۲
تصاویر ۴۶۵	۶.۱۲
تئوری ایروفویل ۴۶۸	۷.۱۲

توربوماشین‌ها



مقدمه ۴۷۶	۱.۱۳
پمپ گریز از مرکز (Centrifugal Pumps) ۴۷۸	۲.۱۳
منحنی‌های عملکرد پمپ و قوانین تشابه ۴۸۶	۳.۱۳
پمپ‌های جریان مختلط و جریان محوری سرعت مخصوص ۴۹۷	۴.۱۳

موج



مقدمه ۵۰۶	۱.۱۴
امواج منظم ۵۰۷	۲.۱۴
تئوری پتانسیل ۵۰۸	۱.۲.۱۴
پتانسیل سرعت ۵۰۹	۲.۲.۱۴
شرط پیوستگی و معادله لاپلاس ۵۰۹	۳.۲.۱۴
شرایط مرزی بستر دریا ۵۱۰	۴.۲.۱۴

شرط مرزی دینامیکی سطح آزاد ۵۱۲	۵.۲.۱۴
شرط مرزی سینماتیکی سطح آزاد ۵۱۳	۶.۲.۱۴
سرعت فاز ۵۱۶	۳.۱۴
سینماتیک ذره آب ۵۱۷	۴.۱۴
سرعت‌ها ۵۱۸	۱.۴.۱۴
جابه‌جایی‌ها ۵۱۹	۲.۴.۱۴
خط سیر ۵۲۰	۳.۴.۱۴
شتاب‌ها ۵۲۱	۴.۴.۱۴
فشار ۵۲۲	۵.۴.۱۴
انرژی موج ۵۲۲	۶.۴.۱۴
انتقال انرژی یا توان ۵۲۵	۵.۱۴
سرعت گروهی ۵۲۷	۶.۱۴

پیوست‌ها ۵۳۱

پیوست الف مشخصات سیالات متفاوت در شرایط متفاوت ۵۳۲

پیوست ب تبدیل واحدها و کمیات مختلف ۵۳۹

پیوست ج جبر برداری ۵۴۱

۱. مقدمه ۵۴۳

۲. انواع بردارها ۵۴۳

۳. جمع برداری ۵۴۳

پیوست د میدان‌های برداری، اسکالر و نگاشت ۵۴۸

۱. د. گرادیان ۵۴۸

۲. د. میدان برداری ۵۴۸

۳. د. میدان اسکالر ۵۴۸

۴. د. دیورژانس ۵۴۸

۵. د. کرل ۵۴۸

۶. د. قضیه گرین ۵۴۹

۷. د. قضیه دیورژانس ۵۴۹

۸. د. قضیه استوکس ۵۴۹

۹. د. نگاشت ۵۴۹

منابع و مراجع ۵۵۱

فهرست الفبایی ۵۵۳