

مکانیک سیالات

جلد دوم

مؤلف:

منوچهر پناه

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

انتشارات پناه گستر

شناسه	: پناه، منوچهر، ۱۳۳۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک سیالات / مؤلف منوچهر پناه
وضعیت ویراست	: ویراست ۱
مشخصات نشر	: تهران: پناه گستر، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۹۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۲۵۰۰۰۰ ریال: 978-600-94409-0-0
وضعیت فهرست‌نویسی	: قیفا
موضوع	: سیالات -- مکانیک -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: سیالات -- مکانیک -- مسائل، تمرین‌ها و غیره
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۸۹ ی ۷ پ ۹ ق ۱۴۵/۲۸
رده‌بندی دیویدی	: ۵۳۲/۰۰۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۱۶۷۸۲۷



تألف: منوچهر پناه

مکانیک سیالات ۲

ویرایش اول

ناشر: انتشارات پناه گستر

نوبت و تاریخ چاپ اول، ۱۳۹۲

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

حروفچینی و صفحه‌آرایی: ۶۶۵۶۵۶۹

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۴۰۹-۰-۰ 978-600-94409-0-0

شابک، دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۵۷۷۸-۴۶-۸

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان

مرکز بخش: تهران انتشارات پناه گستر، صندوق پستی، ۱۹۹۷۷۷۴۶۵۱

تلفن همراه: ۰۹۳۶۳۴۸۴۸۴۰

«حق چاپ برای ناشر محفوظ است.»

فهرست

بیشگفتار	۱۳
مقدمه	۱۵
فصل اول: جریان های چسبنده	۱۷
۱-۱- مقدمه	۱۷
۱-۲- مؤلفه های تنش در هر نقطه	۱۸
۱-۳- تغییر وضع و یا حرکت المان سیال	۲۰
۱-۵- رابطه بین مؤلفه های تنش و سرعت تغییر شکل	۲۴
۱-۶- معادلات حرکت برای جریانهای آرام	۲۵
۱-۶-۱- شتاب حرکت یک ذره سیال	۲۶
۱-۶-۲- معادلات ناویر و استوکس	۲۸
۱-۷- جریان آرام بین دو صفحه موازی:	۳۸
۱-۷-۱- جریان آرام بین دو صفحه موازی که هر دو ساکن هستند:	۳۸

- ۴۱-۷-۱- جریان بین دو صفحه که یکی ساکن و دیگری متحرک باشد.....
- ۴۲-۱-۸- جریان آرام در لوله ها.....
- ۴۳-۱-۸-۱- معادلات ناویر - استوکس در مختصات استوانه ای.....
- ۴۹- فصل دوم: جریان های غیرچرخشی و جریان پتانسیل.....
- ۴۹-۲-۱- مقدمه.....
- ۵۰-۲-۲- بردار چرخش و شرط غیرچرخشی بودن جریان.....
- ۵۲-۲-۳- گردش.....
- ۵۲-۲-۳-۱- لوله چرخش و انتگرال سطح.....
- ۵۳-۲-۳-۲- انتگرال خطی روی مسیر بسته C.....
- ۵۴-۲-۴- قضیه استوکس در حالت دو بعدی و سه بعدی.....
- ۵۸-۲-۵- ارتباط بین چسبندگی سیال و غیرچرخشی بودن جریان.....
- ۶۲-۲-۷- کاربرد معادله برنولی در جریانهای غیرچرخشی.....
- ۶۲-۲-۷-۱- معادله حرکت اولر.....
- ۶۷-۲-۷-۲- ادغام شرایط جریان غیرچرخشی با معادله اولر.....
- ۶۹-۲-۸- تابع پتانسیل سرعت در جریان غیرچرخشی.....
- ۷۰-۲-۸-۱- معادلات حاکم بر جریانهای غیرچرخشی سه بعدی.....
- ۷۳-۲-۸-۲- تابع پتانسیل در مختصات قطبی، استوانه ای و کروی.....
- ۷۴-۲-۹- تابع جریان.....
- ۷۶-۲-۹-۱- تابع جریان در مختصات قطبی، استوانه ای و کروی.....
- ۸۰-۲-۹-۲- جریان دو بعدی دائمی و تراکم پذیر.....
- ۸۱-۲-۱۰- ارتباط بین تابع جریان و تابع پتانسیل سرعت.....

- ۲-۱۱- ارتباط خطوط جریان (Ψ ثابت) و خطوط پتانسیل (ϕ ثابت) ۸۲
- ۲-۱۲- عواملی که تولید چرخش می‌کنند ۸۳
- ۲-۱۳- معادله‌های کاربردی در جریانهای غیرقابل تراکم و غیرچرخشی ۸۶
- ۲-۱۳-۱- اصل بقا، جرم و شرط غیرچرخشی ۸۶
- ۲-۱۳-۲- قانون دوم نیوتن ۹۰
- ۲-۱۳-۳- قانون اول ترمودینامیک ۹۰
- ۲-۱۳-۴- قانون دوم ترمودینامیک ۹۰
- ۲-۱۴- شرایط مرزی برای جریانهای غیرچسبنده و غیرچرخشی ۹۳
- ۲-۱۵- روشهای حل جریان پتانسیل ۹۳
- ۲-۱۵-۱- روش ترسیمی (رسم شبکه جریان) ۹۳
- ۲-۱۵-۲- روشهای تحلیلی ۹۴
- ۲-۱۵-۳- روشهای محاسبات عددی ۹۶
- ۲-۱۶- جریانهای پتانسیل ساده ۹۶
- ۲-۱۶-۱- جریان یکنواخت ۹۷
- ۲-۱۶-۲- خط چشمه و خط چاه ۱۰۱
- ۲-۱۶-۳- ورتکس آزاد (گرداب یا حلقه ساده) ۱۰۴
- ۲-۱۶-۴- خط دوبله یا دوبله دو بعدی (دو قطبی) ۱۰۶
- ۲-۱۷- ادغام جریانهای پتانسیل ساده ۱۱۱
- ۲-۱۷-۱- خط چشمه و خط چاه با قدرت مساوی ۱۱۱
- ۲-۱۷-۴- جریان یکنواخت و ورتکس آزاد ۱۲۱
- ۲-۱۷-۵- گردابه‌های ردیفی با تعداد بینهایت ۱۲۲

- ۱۲۵-۲-۱۷-۷-..... دایره دو بعدی در جریان یکنواخت (جریان حول استوانه ثابت).....
- ۱۲۹-۲-۱۷-۸-..... ورتکس و دایره در جریان یکنواخت (جریان حول یک سیلندر چرخان).....
- ۱۳۵-۲-۱۷-۹-..... نیروهای برا و پسای وارد بر سیلندر چرخان از طریق تنوری و آزمایش.....
- ۱۳۶-۲-۱۷-۱۰-..... ورتکس های زوج در جریان یکنواخت (بیضی کلون).....
- ۱۳۷-۲-۱۷-۱۱-..... چشمه و ورتکس.....
- ۱۶۵-..... فصل سوم: تنوری لایه مرزی.....
- ۱۶۵-۳-۱-..... مقدمه.....
- ۱۶۷-۳-۲-..... جریانهای لایه مرزی.....
- ۱۶۹-۳-۳-..... ضخامت های اشکلی و جابه جایی و ممنتم در لایه مرزی.....
- ۱۷۲-۳-۴-..... معادله های جریان در لایه های مرزی بر روی صفحه.....
- ۱۷۴-۳-۵-..... حل معادله های لایه مرزی آرام روی صفحه.....
- ۱۷۴-۳-۶-..... معادله انتگرالی ممنتم فون کارمن.....
- ۱۷۷-۳-۷-..... کاربرد معادله انتگرالی ممنتم فون کارمن.....
- ۱۷۷-۳-۷-۱-..... محاسبه ضخامت های لایه مرزی آرام.....
- ۱۸۱-۳-۸-..... محاسبه ی ضریب اصطکاک پوسته ای توسط فون کارمن و بلازیوس در جریان لایه مرزی آرام.....
- ۱۸۳-۳-۹-..... ناحیه گذرا در جریان روی صفحه مسطح.....
- ۱۸۷-۳-۱۰-..... ضخامت لایه مرزی متلاطم در صفحه با سطح صاف.....
- ۱۸۹-۳-۱۱-..... نیروی پسای اصطکاک پوسته ای در صفحات صاف در جریان متلاطم.....
- ۱۸۹-۳-۱۱-۱-..... اعداد رینولدز کمتر از 10^7
- ۱۹۱-۳-۱۱-۲-..... عدد رینولدز جریان بیشتر از 10^7

۱۹۶	۳-۱۲- اصطکاک پوسته‌ای در صفحات زیر در جریان متلاطم
۱۹۹	۳-۱۳- جریان حول اجسام قوسی شکل، پدیده جدایی
۲۰۲	۳-۱۳-۱- جریان پیرامون یک ایرفویل
۲۰۴	۳-۱۳-۲- جریان در مجرای همگرا - واگرا در حالت غیرقابل تراکم
۲۰۶	۳-۱۴- محاسبه نیروی پسا بر روش تجربی در اجسام غوطه‌ور در جریان
۲۱۱	۳-۱۴-۱- نیروی پسا در صفحه
۲۱۵	۳-۱۴-۲- نیروی پسا در جریان حول استوانه
۲۲۰	۳-۱۴-۳- وضعیت جریان و نحوه تغییرات C_D در جریان حول استوانه با سطح صاف در رینولدزهای مختلف
۲۲۴	۳-۱۵- جریان روی کره
۲۲۷	۳-۱۶- تأثیر زبری در ناحیه گذر و نقطه جدایی در کره و استوانه
۲۲۹	۳-۱۷- روشهای کاهش نیروی پسای وارد بر اجسام
۲۳۳	۳-۱۸- ضرایب پسا در اجسام دو بعدی و سه بعدی
۲۴۰	۳-۱۹- جریان پیرامون ایرفویل‌های دو بعدی
۲۴۳	۳-۱۹-۱- تولید نیروی لیفت در ایرفویل
۲۴۵	۳-۱۹-۲- گردش پیرامون ایرفویل
۲۴۶	۳-۱۹-۳- ضرایب فشار، برا و پسا در ایرفویلها دو بعدی
۲۵۶	۳-۲۰- جریان پیرامون ایرفویل‌های سه بعدی (بالها)
۲۶۲	۳-۲۱- روشهای کاهش پسای کل و افزایش ضریب لیفت حداکثر
۲۶۶	۳-۲۲- نیروی لیفت وارد بر استوانه و کره چرخان
۲۸۵	فصل چهارم: جریان تراکم پذیر یک بعدی
۲۸۵	۴-۱- جریان تراکم پذیر کلاسیک

- ۲۸۸..... ۴-۲ کاربرد جریان تراکم‌پذیر مدرن
- ۲۸۹..... ۴-۳ تئوریهای حاکم بر جریانهای تراکم‌پذیر کلاسیک و مدرن
- ۲۸۹..... ۴-۳-۱ تئوری جریان تراکم‌پذیر کلاسیک
- ۲۹۰..... ۴-۳-۲ تئوری جریان تراکم‌پذیر مدرن
- ۲۹۱..... ۴-۴ بررسی تأثیر چسبندگی
- ۲۹۱..... ۴-۵ محیط بی‌بسته
- ۲۹۲..... ۴-۶ مشخصه‌های جریان تراکم‌پذیر
- ۲۹۵..... ۴-۷ فرضیات حاکم بر جریان تراکم‌پذیر در مجاری بسته
- ۲۹۶..... ۴-۸ مروری بر ترمودینامیک
- ۲۹۶..... ۴-۸-۱ گاز کامل
- ۲۹۹..... ۴-۸-۲ آنتالپی و انرژی داخلی
- ۳۰۲..... ۴-۹ قوانین اول و دوم ترمودینامیک
- ۳۰۲..... ۴-۹-۱ قانون اول ترمودینامیک
- ۳۰۴..... ۴-۹-۲ قانون دوم ترمودینامیک و آنتروپی
- ۳۰۵..... ۴-۹-۳ محاسبه آنتروپی
- ۳۰۷..... ۴-۹-۴ معادله فرآیند آیزنتروپیک
- ۳۱۱..... ۴-۱۰ سرعت موج صوتی
- ۳۱۲..... ۴-۱۰-۱ سرعت موج صوتی در مایعات
- ۳۱۲..... ۴-۱۰-۲ سرعت موج صوتی در جامدات
- ۳۱۳..... ۴-۱۰-۳ سرعت موج صوتی در گاز کامل آیزنتروپیک
- ۳۱۴..... ۴-۱۱ عدد ماخ و تعیین رژیم‌های جریان

- ۴-۱۲- رژی‌م جریانهای تراکم‌پذیر خارجی ۳۱۵
- ۴-۱۲-۱- جریان زیر صوتی ۳۱۶
- ۴-۱۲-۲- جریان گذر صوتی ۳۱۶
- ۴-۱۲-۳- جریان فرا صوتی ۳۱۷
- ۴-۱۲-۴- جریان آب‌ر صوتی ۳۱۸
- ۴-۱۳- رژی‌م جریانهای تراکم‌پذیر در داخل مجرای بسته ۳۲۲
- ۴-۱۴- تاثیر تغییر سطح مقطع در خواص فیزیکی گاز تراکم‌پذیر آیزنتروپیک ۳۲۲
- ۴-۱۴-۱- متغیرهای شرایط سکون به عنوان مرجع ۳۲۴
- ۴-۱۴-۲- محاسبه شرایط سکون آیزنتروپیک ۳۲۵
- ۴-۱۴-۳- تعیین محدودهٔ ماخ در جریان تراکم‌پذیر ۳۲۹
- ۴-۱۴-۴- شرایط بحرانی آیزنتروپیک (مرجع) ۳۳۰
- ۴-۱۵- معادلات حاکم بر جریان آیزنتروپیک در مجرای با مقطع متغیر ۳۳۲
- ۴-۱۵-۱- نحوهٔ تغییر سرعت بر حسب تغییرات سطح مقطع در جریان تراکم‌پذیر آیزنتروپیک ۳۳۴
- ۴-۱۵-۲- نحوهٔ تغییر فشار بر حسب تغییر سطح مقطع در جریان تراکم‌پذیر آیزنتروپیک ۳۳۵
- ۴-۱۵-۳- نحوهٔ تغییرات ماخ بر حسب تغییر سطح مقطع ۳۳۶
- ۴-۱۶- تغییرات فشار و سرعت در مجراها ۳۳۷
- ۴-۱۶-۱- مجرای همگرا و همگرا و اگر ۳۳۷
- ۴-۱۶-۲- مجرای همگرا- واگرا ۳۳۹
- ۴-۱۶-۳- تغییرات فشار و عدد ماخ در نازل همگرا در پس فشارهای مختلف ۳۴۵
- ۴-۱۶-۴- بررسی تغییرات فشار و عدد ماخ در مجرای همگرا- واگرا ۳۴۸
- ۴-۱۷- شوک قائم یا نرمال شوک ۳۵۴

- ۳۵۴-۱-۴-۱۷- نحوه تشکیل شوک قائم در جریانهای داخلی و خارجی
- ۳۵۷-۲-۴-۱۷- فرضیات شوک قائم و معادلات حاکم
- ۳۶۴-۳-۴-۱۷- منحنیهای مربوط به خواص بعد از شوک بر حسب ماک قبل از شوک
- ۳۶۵-۴-۴-۱۷- مقایسه منحنی شوک تراکمی آیزنتروپیک و منحنی شوک تراکمی واقعی (هوگونیوت)
- ۴۰۷- فصل پنجم: جریان در نهرها
- ۴۰۷-۱-۵- مقدمه
- ۴۰۹-۲-۵- بررسی توزیع سرعت
- ۴۱۲-۳-۵- تقسیم بندی جریان بر حسب تغییرات عمق
- ۴۱۳-۴-۵- طبقه بندی جریان بر حسب عدد فرود
- ۴۱۴-۵-۵- سرعت امواج سطحی
- ۴۱۸-۶-۵- جریان یکنواخت؛ رابطه (Chezy)
- ۴۲۵-۷-۵- روشهای جدیدتر در جریان یکنواخت
- ۴۳۰-۸-۵- بهترین مقطع هیدرولیکی
- ۴۳۱-۱-۵-۸- بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی
- ۴۳۳-۲-۵-۸- بهترین مقطع هیدرولیکی دوزنقه ای
- ۴۴۱- پیوست

پیشگفتار

جهان امروز، بیش از هر زمان دیگری نیازمند تحول و ابداعات در عرصه‌های مختلف علمی و فرهنگی است و انسان معاصر، همچنان در جستجوی دنیای امن و سالم برای زیستن می‌باشد که همه در گرو جهت‌یابی چالش‌های مستمر دانشمندان و محققان و متخصصین علوم مختلف است.

انسان توانمند و خلاق با اتکاء به نیروهای بیکران دنیای درون خود و با استفاده از تکنولوژی و علوم و فناوری به شکلی نیرومند، برای بهبودی خویش تلاش دارد. انگیزه‌های انسانی بزرگترین عامل حرکت در جهت برداشتن گام‌هایی بزرگ و مؤثر در این راستا می‌باشد.

کتاب حاضر، محصول تلاش بیش از ۲۲ سال تدریس در دانشگاه‌های مختلف و کسب تجربه از اجرای پروژه‌های صنعتی و اشتغال در کارخانجات عظیم کشور از جمله ماشین‌سازی اراک و صنایع آذرفا می‌باشد، تجربه یافته‌ام که نقش سیالات در طراحی تجهیزات پتروشیمی و پالایشگاهی کلیدی بوده، از این رو با اتکاء به کتاب‌های متعدد به زبان اصلی، تصمیم گرفتم کتاب حاضر را تهیه نمایم. در روند تألیف، کلمات کلیدی درسی به زبان اصلی، همراه با ترجمه صحیح آن ارائه شده و معتقدم که این روش موجب ارتقاء توان دانشجویان جهت رجوع به منابع مختلف به زبان اصلی خواهد شد. جهت فراگیری بهتر دانشجویان در انتهای هر فصل، مسائل متنوع با حل آنها ارائه شده است که می‌تواند راه‌گشای مناسبی در برخورد با مسائل پیچیده‌تر باشد.