



مبانی ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت



مولفان:

مهندس ابوذری ملکیان

مهندس بهزاد فرامرزی



سرشناسه: ملکیان، ابوذر، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پدیدآور: مبانی ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت / مولفان: ابوذر ملکیان، بهزاد فرامرزی
مشخصات نشر: تهران: نوآور، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۲۵۴ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۷۰-۸
وضعیت فهرست نویسی: فیهیای مختصر
یادداشت: فهرستنویسی کامل این اثر در نشانی: <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.
شناسه افزوده: فرامرزی، بهزاد -
شماره کتابشناسی ملی: ۵۵۲۶۳۴

مبانی ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت

مولفان: مهندس ابوذر ملکیان، مهندس بهزاد فرامرزی



نشر نوآور

ناشر: نوآور

مدیر فنی: محمدرضا نصیرنیا

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۷۰-۸

مرکز بخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
طبقه اول، واحد ۳ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر
نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل
هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع
انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا
تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام
است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.

www.noavarpub.com

<https://telegram.me/noavarpub>

<https://www.instagram.com/noavarpub/>

فهرست مطالب

۹	مقدمه
۱۱	بخش اول: مکانیک سیالات
۱۲	فصل اول / مفاهیم بنیادی
۱۲	۱-۱- تعریف سیال
۱۲	۲-۱- وزن مخصوص
۱۲	۳-۱- میدان سرعت
۱۲	۴-۱- جریان پایا
۱۲	۵-۱- جریان‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی
۱۳	۶-۱- قانون لزجت نیوتن
۱۴	۷-۱- ویسکوزیته (لزجت مطلق یا لزجت دینامیکی)
۱۴	۸-۱- ویسکوزیته سینماتیک
۱۴	۹-۱- کشش سطحی
۱۴	۱۰-۱- صعود و نزول سیال در لوله‌ی موئین
۱۵	۱۱-۱- جریان لایه‌ای و جریان متلاطم
۱۵	۱۲-۱- جریان‌های تراکم پذیر و تراکم ناپذیر
۱۷	فصل دوم / استاتیک سیالات
۱۷	۱-۲- قانون اساسی در استاتیک سیالات
۱۷	۲-۲- اصل پاسکال
۱۷	۳-۲- واحدهای فشار
۱۸	۴-۲- فشار نسبی و فشار مطلق
۱۸	۵-۲- وسایل اندازه‌گیری فشار
۲۰	۶-۲- اجسام شناور و غوطه‌ور در سیال
۲۰	۷-۲- تعادل اجسام غوطه‌ور و شناور
۲۴	فصل سوم / معادله‌های اصلی برای حجم کنترل
۲۴	۱-۳- دبی حجمی
۲۵	۲-۳- جریان آرام
۲۵	۳-۳- جریان متلاطم
۲۵	۴-۳- قانون بقا در یک سیستم (قانون پیوستگی)
۲۵	۵-۳- معادله‌ی برنولی

فصل چهارم / جریان تراکم ناپذیر غیر ویسکوز ۳۱

۱-۴- فشار استاتیکی ۳۱

۲-۴- فشار سکون ۳۱

۳-۴- فشار دینامیکی ۳۱

۴-۴- خط شیب انرژی و خط شیب هیدرولیکی ۳۳

فصل پنجم / تحلیل ابعادی و تشابه ۳۶

۱-۵- عدد رینولدز ۳۶

۲-۵- محاسبه رینولدز در حالت‌های مختلف ۳۶

۱-۲-۵- جریان داخلی ۳۶

۲-۲-۵- جریان خارجی ۳۸

۳-۵- عدد ماخ ۳۹

فصل ششم / جریان داخلی تراکم‌ناپذیر ویسکوز ۴۰

۱-۶- جریان لایه‌ای کاملاً فراگیر ۴۰

۲-۶- جریان لایه‌ای کاملاً فراگیر در لوله ۴۱

۳-۶- محاسبه‌ی افت هد ۴۱

۱-۳-۶- افت‌های اصلی: ضریب اصطکاک ۴۱

۱-۱-۳-۶- جریان لایه‌ای ۴۱

۲-۱-۳-۶- جریان متلاطم ۴۱

۲-۳-۶- افت‌های فرعی ۴۲

۴-۶- مجراهای غیر دایره‌ای ۴۶

فصل هفتم / جریان خارجی تراکم‌ناپذیر ویسکوز ۴۸

۱-۷- لایه مرزی ۴۸

۲-۷- نیروی درگ ۴۹

۳-۷- ضریب اصطکاک و ضخامت لایه‌ی مرزی در جریان لایه‌ای ۴۹

۴-۷- ضریب اصطکاک و ضخامت لایه‌ی مرزی در جریان متلاطم ۴۹

۵-۷- ضریب درگ ۵۰

فصل هشتم / ماشین‌های سیالی ۵۱

۱-۸- تعریف ماشین سیالی ۵۱

۲-۸- ماشین‌هایی که روی سیال کار انجام می‌دهند ۵۱

۳-۸- ماشین‌هایی که از یک سیال کار (توان) می‌گیرند ۵۳

۵۴	۴-۸- توان هیدرولیکی
۵۴	۴-۸-۱- پمپ‌ها، فن‌ها و دمنده‌ها
۵۵	۴-۸-۲- توربین‌ها
۵۶	۴-۸-۵- کاویتاسیون
۵۶	۴-۸-۶- محاسبه‌ی هد مکش مثبت خالص (NPSH)
۶۱	سوالات بخش حرارت مرکزی
۷۴	سوالات بخش پمپ
۸۶	سوالات بخش لوله‌کشی
۹۷	سوالات بخش فن و هوارسان
۱۱۵	بخش دوم: ترمودینامیک
۱۱۶	فصل نهم / تعاریف و مبانی ترمودینامیک
۱۱۶	تعریف ترمودینامیک
۱۱۶	سیستم و حجم کنترلی
۱۱۷	خواص و حالت ماده
۱۱۸	فرآیند و چرخه
۱۱۹	حجم مخصوص و چگالی
۱۲۰	فشار
۱۲۵	قانون صفرم ترمودینامیک
۱۲۵	معیارهای دما
۱۲۵	خواص ماده خالص
۱۲۶	تعادل فازي بخار - مایع و گاز در ماده خالص
۱۲۶	کیفیت
۱۲۷	نمودار T-V
۱۳۶	رفتار گاز ایده‌آل در گازهایی با چگالی کم
۱۳۸	فصل دهم / کار و گرما
۱۳۸	کار و گرما
۱۳۸	کار
۱۳۹	یکاهای کار
۱۳۹	کار انجام شده توسط مرز متحرک یک سیستم تراکم‌پذیر ساده
۱۳۹	فرآیند پلی تروپیک
۱۴۳	گرما
۱۴۳	قانون اول ترمودینامیک

۱۴۴	انرژی درونی ماده
۱۴۶	آنتالپی
۱۴۷	گرمای ویژه در فشار ثابت و گرمای ویژه در حجم ثابت
۱۴۷	قانون اول ترمودینامیک برای یک حجم کنترل
۱۴۸	فصل یازدهم / قانون اول ترمودینامیک
۱۴۸	قانون اول در یک حجم کنترل
۱۴۸	فرآیند لحظه‌ای
۱۴۸	حالت پایا ($m_i = m_e$)
۱۴۹	فرآیند گذرا بین دو حالت
۱۵۱	مبدل گرمایی
۱۵۵	توربین
۱۵۶	کمپرسور و توربین
۱۵۸	فصل دوازدهم / قانون دوم ترمودینامیک
۱۵۸	قانون دوم ترمودینامیک
۱۵۸	پمپ گرمایی (موتورهای گرمایی و یخچال‌ها)
۱۵۸	نیروگاه بخار مثالی از یک موتور گرمایی
۱۵۹	یخچال مثالی از یک چرخه سرمایشی
۱۶۳	فرآیند برگشت‌پذیر
۱۶۳	چرخه کارنو
۱۶۴	دو قضیه مهم در خصوص چرخه کارنو
۱۶۴	قضیه اول
۱۶۴	قضیه دوم
۱۶۷	فصل سیزدهم / آنتروپی
۱۶۷	آنتروپی
۱۶۷	نامساوی کلازیوس
۱۶۸	محاسبه کار در نمودار T-S
۱۶۸	تغییر آنتروپی در جامدات و مایعات و گازها
۱۶۹	سیستم‌های سردسازی
۱۶۹	مخلوط گاز و بخار
۱۷۱	فرآیند اشباع سازی آدیاباتیک
۱۷۲	دمای حباب تر - دمای حباب خشک و منحنی رطوبت‌سنجی



۱۷۸	تعریف تن برودت.....
۱۷۸	دستگاه چیلر.....
۱۸۰	چیلر جذبی چیست؟.....
۱۸۱	اجزای چیلر جذبی.....
۱۸۲	سوالات بخش سایکرومتریک.....
۱۸۷	سوالات بخش چیلر.....
۲۰۸	بخش سوم: انتقال حرارت
۲۰۹	فصل چهاردهم / رسانش
۲۰۹	انتقال حرارت (گرما).....
۲۰۹	انتقال حرارت رسانشی.....
۲۱۲	خواص گرمایی ماده.....
۲۱۲	ضریب رسانش ماده (k).....
۲۱۴	عایق گرمایی.....
۲۱۴	رسانش پایای یک بعدی.....
۲۱۴	مقاومت گرمایی.....
۲۱۵	دیوار مرکب.....
۲۱۶	مقاومت تماسی.....
۲۱۸	رسانش یک بعدی در دیواره استوانه‌ای.....
۲۱۹	شعاع بحرانی.....
۲۲۰	دیواره کروی.....
۲۲۴	افزایش خنک‌کاری به کمک پره یا فین.....
۲۲۵	فصل پانزدهم / جابجایی
۲۲۵	جاب‌جایی.....
۲۲۶	لایه مرزی هیدرودینامیکی.....
۲۳۰	فصل شانزدهم / تشعشع
۲۳۰	تشعشع.....
۲۳۰	قانون استفان - بولتزمن.....
۲۳۰	آهنگ انتقال گرمای تشعشعی.....
۲۳۴	سوالات بخش انتقال حرارت و تهویه مطبوع.....

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرا از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

سپاس بی‌کران از آن خداوند متعال که توفیق خدمتگزاری هر چند کوچک در راه علم و دانش را عطا فرموده است. امید آن می‌رود که این کتاب بتواند سهمی هر چند کوچک در گسترش علم و دانش و توانایی مهندسی دانشجویان، پژوهشگران و صنعتگران این مرز و بوم داشته باشد. هدف از تدوین و نگارش این کتاب ارائه‌ی مبانی و مفاهیم اساسی دروس ترمودینامیک، مکانیک سیالات و انتقال حرارت به بیانی ساده و مختصر همراه با مثال‌هایی کاربردی می‌پردازد. در انتهای هر بخش نیز سؤالات مربوط به آن قسمت در آزمون‌های نظام مهندسی سال‌های گذشته همراه با پاسخ‌های تشریحی کامل آورده شده است. بر خود لازم می‌دانیم از همکاری تمامی اشخاص در نشر نوآور (خصوصاً خانم بیگلی) در طول مدت تدوین این کتاب، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

در پایان پذیرای هرگونه پیشنهاد و انتقاد اساتید ارجمند و صنعتگران گرامی در اصلاح و تکمیل این کتاب بوده و صمیمانه از اعلام نظر این عزیزان استقبال می‌نماییم.

Noavar33@yahoo.com

اهداء به پیشگاه مقدس محمد بن علی (باقرالعلوم) علیه‌السلام

تقدیم به :

همسر عزیزم که سایه مهربانیش سایه سار زندگی‌ام می‌باشد
و فرزندانم علیرضا و محمد حسین که شیرینی زندگیمان هستند

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و **شرعاً نیز حرام** است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هر گونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، افست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،

از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۲۱-۰۹۱۰۲۹۹۱۰۸۹ (تلگرام انتشارات) و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

بخش اول

مکانیک سیالات

فصل اول

مفاهیم بنیادی

۱-۱- تعریف سیال

سیال ماده‌ای است که تحت اثر یک تنش برشی (مماسی) هر چند کوچک دائماً تغییر شکل بدهد. نیروی برشی، مؤلفه‌ی مماسی نیروی وارد بر سطح است. تنش برشی برابر با نسبت نیروی برشی به مساحت سطح می‌باشد و با علامت τ نشان داده می‌شود. نسبت مؤلفه‌ی عمودی نیروی وارد بر سطح بر مساحت سطح فشار نام دارد و با P نمایش داده می‌شود.

$$\tau = \frac{F_{\text{برشی}}}{A}, P = \frac{F_{\text{عمودی}}}{A}$$

۱-۲- وزن مخصوص

وزن مخصوص، γ ، به صورت وزن در واحد حجم ماده و با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\gamma = \rho g$$

۱-۳- میدان سرعت

سرعت یک کمیت برداری است و برای توصیف کامل سرعت به اندازه و جهت نیازمندیم. در لحظه‌ای معین، هر نقطه از سیال دارای یک سرعت مشخص است. در هر لحظه‌ی مشخص، میدان سرعت \vec{V} تابعی از مختصات فضایی x ، y و z است. نمایش کامل میدان سرعت به صورت زیر است:

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t)$$

۱-۴- جریان پایا

اگر خواص در هر نقطه از یک میدان جریان با زمان تغییر نکنند، جریان را پایا می‌نامند.

۱-۵- جریان‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی

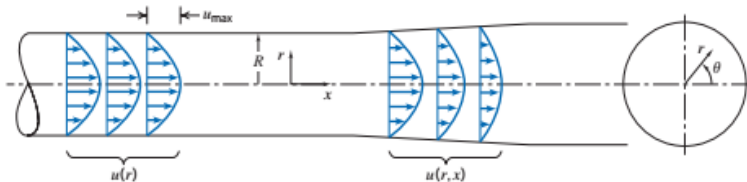
بنا بر تعداد مختصات فضایی لازم برای تعیین میدان سرعت سیال، جریان سیال به صورت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی تقسیم‌بندی می‌شود. معادله‌ی میدان سرعت نشان می‌دهد که میدان سرعت می‌تواند تابعی از سه مختصات فضایی و یک مختصات زمان باشد. به چنین جریانی جریان سه بعدی می‌گویند.

اکثر میدان‌های جریان ذاتاً سه بعدی هستند و برای ساده‌سازی و جلوگیری از پیچیدگی در تحلیل‌ها از یکسری فرضیات ساده‌کننده برای در نظر گرفتن جریان سیال به صورت یک بعدی و دو بعدی استفاده می‌شود.

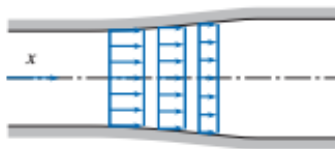
در شکل (۱-۱) جریان پایای عبوری از لوله مستقیم بلندی با مقطع واگرا نشان داده شده است. تحت شرایط معین (برای مثال، دور از ورودی لوله و دور از مقطع واگرا که جریان کاملاً پیچیده است)، توزیع سرعت به صورت زیر است:

$$u = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

این توزیع سرعت در سمت چپ نشان داده شده است. سرعت $u(r)$ تنها تابعی از یک مختصه است و در نتیجه، جریان یک بعدی است. در مقطع واگرا، سرعت در امتداد x کاهش می‌یابد و جریان به صورت دو بعدی $u(r, x)$ در می‌آید.



شکل (۱-۱) مثال‌هایی برای جریان یک بعدی و دو بعدی



شکل (۲-۱) مثالی از جریان یکنواخت در یک مقطع

عبارت میدان جریان یکنواخت برای توصیف جریانی به کار می‌رود که در آن سرعت در کل میدان جریان ثابت است، به عبارتی سرعت از تمام مختصات فضایی مستقل است.

۱-۶- قانون لزجت نیوتن

اگر سیال در معرض تنش برشی τ_{xy} قرار بگیرد، سیال دارای آهنگ تغییر شکلی می‌شود که با رابطه‌ی $\frac{du}{dy}$ بیان می‌شود.

$$\tau_{xy} \propto \frac{du}{dy}$$

سیالات در حالت کلی به دو دسته نیوتنی و غیر نیوتنی تقسیم می‌شوند:
۱- سیالاتی که در آن‌ها تنش برشی با آهنگ تغییر شکل مستقیماً متناسب است سیالات نیوتنی می‌نامند.

$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dy}$$

در رابطه‌ی بالا، بعد τ ، $[F/L^2]$ ، بعد $\frac{du}{dy}$ ، $[1/t]$ و بعد μ ، $[Ft/L^2]$ است.

۲- سیالاتی که در آن‌ها تنش برشی مستقیماً با آهنگ برشی متناسب نیست سیالات غیر نیوتنی می‌نامند.

۷-۱- ویسکوزیته (لزجت مطلق یا لزجت دینامیکی)

ویسکوزیته خاصیتی از سیال است که نشان‌دهنده‌ی مقاومت آن در برابر نیروهای برشی است. ویسکوزیته با μ نشان داده می‌شود. با افزایش دما ویسکوزیته مایعات کاهش می‌یابد ولی ویسکوزیته گازها افزایش می‌یابد. دیمانسیون لزجت برابر با $ML^{-1}T^{-1}$ است.

۸-۱- ویسکوزیته سینماتیک

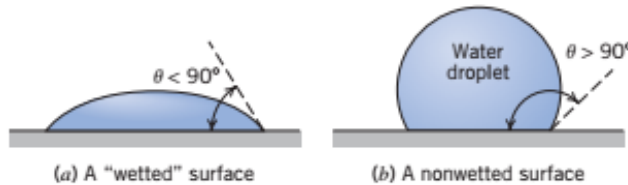
نسبت لزجت به جرم مخصوص را لزجت سینماتیک می‌گویند و با ν نشان می‌دهد. بعد ویسکوزیته سینماتیک برابر با L^2T^{-1} می‌باشد و رابطه‌ی آن برابر است با:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

۹-۱- کشش سطحی

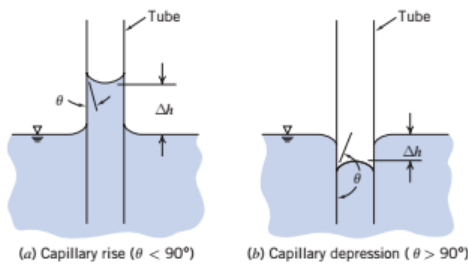
نیروی که به مولکول‌های سطحی به سمت بالا وارد می‌شود را نیروهای کشش سطحی می‌نامند. واحد کشش سطحی $\frac{N}{m}$ می‌باشد. با افزایش دما نیروهای بین مولکول کاهش یافته و لذا کشش سطحی کاهش می‌یابد.

هنگامی که یک قطره بر روی یک سطح قرار می‌گیرد مطابق شکل (۳-۱) دو حالت به وجود می‌آید: اگر زاویه‌ی تماس θ کوچک‌تر از 90° درجه باشد ($\theta < 90^\circ$)، سطح را سطح خیس تعریف می‌کنیم. اگر زاویه‌ی تماس θ بزرگ‌تر از 90° درجه باشد ($\theta > 90^\circ$)، سطح را سطح خشک تعریف می‌کنیم.



شکل (۳-۱) آثار کشش سطحی روی قطره‌های آب

۱۰-۱- صعود و نزول سیال در لوله‌ی موئین



شکل (۴-۱) صعود و نزول موئینی داخل و خارج از لوله مدور

اگر سیستم نمایش یافته در شکل (۴-۱) را در نظر بگیریم، دو نیروی مختلف وجود دارد که عبارت‌اند از نیروهای چسبندگی بین مایع و شیشه، نیروهای کشش سطحی (یا نیروهای پیوستگی بین مولکول‌های خود مایع).

فصل دوم

استاتیک سیالات

۱-۲- قانون اساسی در استاتیک سیالات

در سیال ساکن و نیز در سیالی که مانند جسم صلب حرکت می‌کند لایه‌های مجاور سیال نسبت به هم حرکت نمی‌کنند و لذا تنش برشی صفر است. مجموع نیروهای فشاری خالص بر واحد حجم و نیروی حجمی بر واحد حجم در یک نقطه برابر با صفر است. این قانون اساسی در استاتیک سیالات می‌باشد.

$$-\nabla p + \rho g = 0$$

اگر دستگاه مختصاتی با محور قائم z (با جهت مثبت به سمت بالا) انتخاب کنیم، آنگاه $g_x = 0$ ، $g_y = 0$ ، $g_z = -g$. تحت این شرایط و با وجود محدودیت‌های زیر رابطه‌ی اصلی فشار-ارتفاع در استاتیک سیالات به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g = -\gamma$$

محدودیت‌ها:

سیال ساکن است

تنها نیروی حجمی، نیروی وزن است.

محور z ، عمودی و رو به بالا است.

۲-۲- اصل پاسکال

اصل پاسکال بیان می‌کند که در یک سیال ساکن در یک نقطه فشار در تمامی جهات یکسان است. به عبارت دیگر در یک سیال ساکن در یک نقطه $P_x = P_y = P_z$. اگر سیال ساکن

نباشد اصل پاسکال برقرار نیست و فشار در هر نقطه برابر است با $\frac{P_x + P_y + P_z}{3}$.

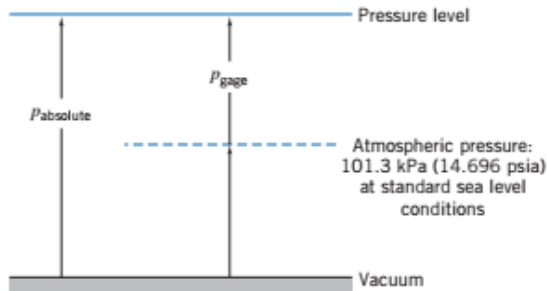
۲-۳- واحدهای فشار

برای بیان فشار در سیستم‌های مختلف می‌توان واحدهای مختلفی را در نظر گرفت که عبارت‌اند از:

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ pa} = 1.013 \text{ mHg} = 760 \text{ mmHg}$$

۲-۴- فشار نسبی و فشار مطلق

اگر فشار نسبت به فشار اتمسفر سنجیده شود فشار نسبی است. در این حالت فشار منفی بدین معنی است که فشار در نقطه مورد نظر از فشار اتمسفر کمتر است. اگر فشار نسبت به خلأ مطلق سنجیده شود فشار مطلق می‌نامیم. در شکل (۶-۱) مفاهیم فشار نسبی و فشار مطلق آورده شده است.



شکل (۶-۱) فشارهای مطلق و نسبی

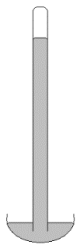
۲-۵- وسایل اندازه‌گیری فشار

بارومتر: وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری فشار محلی به کار می‌رود مطابق با شکل زیر در بارومتر داریم:

$$P_{\text{atm}} = P_v + \rho gh$$

که در آن h ارتفاع مایع داخل ستون و P_v فشار بخاری است که در انتهای ستون وارد می‌شود.

مانومتر: وسیله‌ای است که با استفاده از ستون مایع اختلاف فشار را اندازه‌گیری می‌کند. در مثال زیر نحوه‌ی کار کردن با مانومترها شرح داده می‌شود.



شکل (۷-۱) مانومتر

• مثال ۳: فشارسنج چند مایعی

شکل زیر را در نظر بگیرید. داخل لوله‌های A و B آب جریان دارد. در قسمت بالای U وارونه، روغن روانکاری و در پایین زانویی‌های فشارسنج، جیوه قرار دارد. اختلاف فشار بین نقاط A و B را بر حسب lbf/in^2 به دست آورید. $SG_{\text{Hg}} = 13/6$ و $SG_{\text{روغن}} = 0/88$ و $\rho = SG \rho_{\text{H}_2\text{O}}$.

