

مبانی مکانیک سیالات در

شیمی صنعتی

**Fundamentals of Fluid Mechanics in Industrial
Chemistry**

تألیف:

دکتر علیرضا ایلخانی

(عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد یزد)

دکتر ابراهیم بلالی

(عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم دارویی تهران)

حسین پیروان

(دانشجوی دکتری مهندسی شیمی)

۱۳۹۸



سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه	: ایلخانی، علیرضا، ۱۳۵۳ -
عنوان و نام پدیدآور	: مبانی مکانیک سیالات در شیمی صنعتی/ تالیف علیرضا ایلخانی، ابراهیم بلالی، حسین پیروان.
مشخصات نشر	: قم: آثار نفیس، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: د، ۱۵۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۳۵۰۰۰۰ ریال-3-61-7964-600-978:
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: سیالات - مکانیک
موضوع	: Fluid mechanics
موضوع	: شیمی صنعتی
موضوع	: Chemistry, Technical
موضوع	: شیمی -- فرایندها
موضوع	: Chemical processes
شناسه افزوده	: بلالی، ابراهیم، ۱۳۵۷ -
شناسه افزوده	: پیروان، حسین، ۱۳۶۴ -
رده بندی کنگره	: ۱۸۳۵۷
رده بندی دیویی	: ۶۳۰/۱۰۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۹۱۱۱۱۹



نام کتاب: مبانی مکانیک سیالات در شیمی صنعتی

تألیف: دکتر علیرضا ایلخانی، دکتر ابراهیم بلالی، حسین پیروان

چاپ اول: ۱۳۹۸

ناشر: انتشارات آثار نفیس

شابک:

ISBN- 978-600-7964-61-3

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۴۵۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق برای مؤلف / ناشر محفوظ می باشد.

▪ آدرس پستی: قم - انتشارات آثار نفیس - صندوق پستی ۳۷۱۶۵/۱۶۵

▪ انتشارات: ۰۲۵۳۳۲۸۰۴۶۳۴ مدیر مسئول: ۰۹۱۲۵۵۲۴۰۰۷

فروشگاه اینترنتی: www.Shopnafis14.ir - www.Shopnafis14.com

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
..... مقدمه	۱
..... فصل اول: خواص سیالات (Fluid properties)	۳
..... (۱-۱) تنش	۳
..... (۱-۲) لزجت یا گرانروی	۴
..... (۱-۳) عوامل موثر بر ایجاد لزجت	۴
..... (۱-۴) سیال ایده آل	۴
..... (۱-۵) گاز ایده آل	۵
..... (۱-۶) سیالات نیوتنی	۵
..... (۱-۷) قانون لزجت نیوتن	۵
..... (۱-۸) لزجت دینامیکی (μ)	۶
..... (۱-۹) لزجت سینماتیکی (θ)	۶
..... (۱-۱۰) ابعاد لزجت	۶
..... (۱-۱۱) حرکت یک صفحه بین دو سیال	۷
..... (۱-۱۲) گشتاور (T)	۷
..... (۱-۱۳) سیالات غیر نیوتنی	۹
..... (۱-۱۴) انواع سیالات غیر قانونی	۹
..... (۱-۱۵) چگالی ρ	۱۱

۱۶-۱- وزن مخصوص γ ۱۲

۱۷-۱- حجم مخصوص (v) ۱۲

۱۸-۱- چگالی نسبی (S) ۱۲

۱۹-۱- کشش سطحی δ ۱۲

۲۰-۱- زاویه تماس θ ۱۳

۲۱-۱- موینگی ۱۴

۲۲-۱- ارتفاع موینگی (h) ۱۴

۲۳-۱- ضریب کشسان حجمی E_v ۱۵

۲۴-۱- سرعت صوت (C) ۱۶

۲۵-۱- فشار (P) ۱۶

۲۶-۱- موارد کاربرد قانون لزجت نیوتن ۱۶

۲۷-۱- توان سیال ۱۷

مسائل ۱۷

فصل دوم: استاتیک سیالات (Static Fluids) ۲۱

۲-۱- قانون پاسکال ۲۱

۲-۲- معادله اوایلر ۲۲

۲-۳- محدودیت‌های کاربرد معادله اوایلر ۲۲

۲-۴- فشار مطلق ۲۴

۲-۵- فشار نسبی ۲۴

۲-۶- فشار (مکش خلاء) ۲۴

۲-۷- بارومترها (فشار سنج‌ها) ۲۴

۲۵.....	۲-۸- بارومتر جیوه ای
۲۵.....	۲-۹- پیزومتر
۲۶.....	۲-۱۰- مانومترها:
۲۶.....	۲-۱۱- مانومتر مایل
۲۷.....	۲-۱۲- نیروی عمودی وارده بر سطوح صاف غوطه ور در سیال
۲۷.....	۲-۱۳- نقطه اثر نیرو (یا مرکز فشار)
۲۹.....	۲-۱۴- گشتاور اجسام غوطه ور در سیال (I_G)
۳۱.....	۲-۱۵- نیروهای وارده بر سطوح خمیده غوطه ور در سیال
۳۱.....	۲-۱۶- نیرو شناوری (F_B)
۳۲.....	۲-۱۷- اصل ارشمیدس
۳۲.....	۲-۱۸- حالت‌های مختلف شناوری
۳۴.....	۲-۱۹- حرکت صلب گونه سیال
۳۴.....	۲-۲۰- انواع حرکت صلب گونه سیالات
۳۴.....	۲-۲۱- حرکت با شتاب خطی یکنواخت
۳۵.....	۲-۲۲- حرکت دورنی یکنواخت:
۳۶.....	۲-۲۳- تنش کششی در پوسته‌های استوانه ای و کروی
۳۷.....	۲-۲۴- نیروی افقی (F_h) وارد بر سطوح خمیده درون سیال
۳۷.....	۲-۲۵- نیروی عمودی (F_v) وارد بر سطوح خمیده درون سیال
۳۸.....	۲-۲۶- هیدرومتر
۴۰.....	۲۷-۲- فشار ستون سیال
۴۰.....	مسائل

- فصل سوم: جریان سیالات (Fluid flow) ۴۳
- ۳-۱- جریان آرام یا لایه ای (Laminar Flow) ۴۳
- ۳-۲- جریان درهم یا آشفته (Turbulent flow) ۴۴
- ۳-۳- عوامل تبدیل جریان آرام به جریان درهم ۴۴
- ۳-۴- بردار سرعت ۴۴
- ۳-۵- شتاب سیال ۴۵
- ۳-۶- دبی جرمی (Q) ۴۵
- ۳-۷- دبی جرمی ($\dot{m}$) ۴۶
- ۳-۸- معادله پیوستگی: (ρ, Z) ۴۶
- ۳-۹- معادلات پیوستگی در مختصات استوانه ای (r, θ, Z) ۴۶
- ۳-۱۰- خط جریان ۴۷
- ۳-۱۱- خط مسیر ۴۷
- ۳-۱۲- خط اثر ۴۷
- ۳-۱۳- تابع جریان (ψ) ۴۷
- ۳-۱۴- معادله خط جریان ۴۷
- ۳-۱۵- جریان‌های چرخشی و غیرچرخشی: (برابری پارامترها با هم نشانگر غیرچرخشی بودن) ۴۸
- ۳-۱۶- پتانسیل سرعت ϕ ۴۹
- ۳-۱۷- شیب خط هم پتانسیل ۴۹
- ۳-۱۸- معادله ناویر-استوکس (معادله اندازه حرکت) ۴۹
- ۳-۱۹- ویژگی‌های معادله اولر ۵۰
- ۳-۲۰- ویژگی‌های معادله برنولی ۵۱

- ۵۱..... (۳-۲۱) - معادله برنولی
- ۵۱..... (۳-۲۲) - هد (head)
- ۵۳..... (۳-۲۳) - لوله پیتوت
- ۵۳..... (۳-۲۴) - پیوستگی دبی حجمی
- ۵۴..... (۳-۲۵) - معادله اندازه حرکت (بقای مومنتوم)
- ۵۵..... (۳-۲۶) - ضریب تصحیح انرژی جنبشی و ضریب تصحیح اندازه حرکت
- ۵۶..... (۳-۲۷) - توان سیال (P)
- ۵۶..... (۳-۲۸) - عدد رینولدز (Re)
- ۵۷..... (۳-۲۹) - اریتمیس

فصل چهارم: آنالیز ابعادی و اعداد بدون بُعد (Dimensional analysis and dimensionless)

- ۶۳..... (numbers)
- ۶۴..... (۴-۱) - ابعاد کمیت‌های اصلی
- ۶۴..... (۴-۲) - قضیه پی با کینگهام
- ۶۴..... (۴-۳) - اعداد بدون بُعد
- ۶۵..... (۴-۵) - نکاتی مربوط به اعداد بدون بُعد
- ۶۶..... (۴-۶) - تعیین نوع جریان با استفاده از عدد فرود
- ۶۶..... (۴-۷) - اصل تشابه
- ۶۶..... (۴-۸) - تشابه هندسی
- ۶۶..... (۴-۹) - تشابه سینماتیکی
- ۶۷..... (۴-۱۰) - تشابه دینامیکی
- ۶۷..... مسائل

فصل پنجم: محاسبه اتلافات انرژی در جریان سیال (Calculate the energy loss in the fluid)

۶۹..... (flow)

۶۹..... (۵-۱) - لایه مرزی (Boundary Layer)

۷۰..... (۵-۲) - ناحیه ورودی لوله

۷۱..... (۵-۳) - ناحیه توسعه یافته

۷۱..... (۵-۴) - طول ناحیه ورودی برای جریان آرام و درهم داخل لوله (L)

۷۲..... (۵-۵) - حوض ناحیه کاملاً توسعه یافته

۷۲..... (۵-۶) - معادلات هاگن پوازی (برای جریان آرام سیال در لوله‌ها)

۷۲..... (۵-۷) - تنش برشی در دیواره لوله τ_w

۷۳..... (۵-۹) - توزیع تنش برشی و سرعت در لوله

۷۴..... (۵-۱۰) - تنش برشی در دیواره لوله زاویه دار (τ_w)

۷۴..... (۵-۱۱) - معادله دارسی - ویسباخ (تعیین افت اصطکاکی در لوله‌ها)

۷۵..... (۵-۱۲) - ضریب اصطکاک (f)

۷۵..... (۵-۱۳) - ضریب اصطکاک (F) برای حالت‌های مختلف جریان

۷۶..... (۵-۱۴) - رابطه کاربردی برای ضریب اصطکاک در لوله‌های صاف

۷۶..... (۵-۱۵) - افت‌های موضوعی (نازل‌ها، شیبوره‌ها، شیرآلات، زانویی‌ها و ...)

۷۸..... (۵-۱۶) - طول معادله (Le)

۷۹..... (۵-۱۷) - اتلافات ناشی از انبساط ناگهانی (شیبوره‌ها)

۷۹..... (۵-۱۸) - اتلاف ناشی از انقباض ناگهانی (نازل‌ها)

۸۱..... (۵-۱۹) - ضریب اصطکاک بین دو صفحه موازی

۸۱..... (۵-۲۰) - قطر هیدرولیکی بین دو صفحه موازی

۸۱.....	۵-۲۱- قطر هیدرولیکی (D_h)
۸۲.....	۵-۲۲- قطر هیدرولیکی برای دو لوله هم محور
۸۲.....	۵-۲۳- لوله‌های سری
۸۲.....	۵-۲۴- لوله‌های موازی
۸۲.....	۵-۲۵- لوله و نتوری
۸۳.....	۵-۲۶- سر ریزها
۸۳.....	۵-۲۷- رواتامر
۸۵.....	۵-۲۸- ضریب اصطکاک بین دو صفحه موازی
۸۵.....	مسائل
۸۹.....	فصل ششم: جریان‌های داخلی سیال (Internal fluid flow)
۹۱.....	۶-۱- ضخامت لایه مرزی δ
۹۱.....	۶-۲- قطر هیدرولیکی حرارتی (D_h)
۹۲.....	۶-۳- معیار عدد رینولدز (Re) برای جریان آرام و درهم حرکت سیال بر روی صفحه
۹۲.....	۶-۴- عواملی که باعث می‌شود جریان سیال از حالت آرام به حالت درهم تبدیل شود
۹۳.....	۶-۵- نیروی درگ (F_D) و نیروی لیفت (F_L)
۹۴.....	۶-۶- نیروی درگ اصطحکاکی
۹۴.....	۶-۷- نیروی درگ فشاری
۹۵.....	۶-۸- محاسبه مقدار مساحت (A) در فرمول نیروی دراگ
۹۶.....	۶-۹- پدیده استال ($stall$)
۹۶.....	۶-۱۰- شرایط جدایش لایه مرزی براساس سرعت سیال
۹۶.....	۶-۱۱- شرط لازم و کافی برای جدایش لایه مرزی

۹۷..... ۶-۱۲- لایه مرزی بر روی کره ها و استوانه ها

۹۹..... ۶-۱۳- سرعت حد (سرعت سقوط اجسام در سیال ساکن)

۹۹..... مسائل

۱۰۳..... فصل هفتم: پمپ ها (PUMPS)

۱۰۳..... ۷-۱- توربو ماشین ها (پمپ ها و توربین ها)

۱۰۴..... ۷-۲- کاویتاسیون

۱۰۴..... ۷-۳- اثرات پدیده کاویتاسیون بر پمپ ها

۱۰۵..... ۷-۴- هد خالص مکش مثبت $NPSH$

۱۰۶..... ۷-۵- انواع پمپ ها

۱۰۸..... ۷-۷- توربین های ضربه ای و عکس العملی

۱۰۹..... مسائل

۱۱۱..... فصل هشتم: جریان سیالات تراکم پذیر (Compressible fluid flow)

۱۱۱..... ۸-۱- عدد ماخ (M)

۱۱۲..... ۸-۲- نازل ها و شیبوره ها

۱۱۳..... ۸-۳- امواج ضربه ای

۱۱۴..... ۸-۴- حالت خفگی (Choking)

۱۱۵..... مسائل

۱۱۷..... فصل نهم: بسترهای پر شده (Packed bed)

۱۱۷..... ۹-۱- سطح ویژه ap

۱۱۸..... ۹-۲- سرعت واقعی و ظاهری

۱۱۸..... ۹-۳- تغییرات تخلخل با طول بسترهای پرکن

۱۱۹..... ۵-۹- سرعت صوت در گازهای ایده آل

۱۱۹..... مسائل

۱۲۱..... پیوست‌ها

۱۲۲..... پیوست ۱: نمودارها

۱۳۳..... پیوست ۲: آحاد و ابعاد

۱۳۵..... واژه نامه

۱۴۳..... منابع و مآخذ

مقدمه

در ابتدا قبل از پرداختن به بیان مفهوم علم مکانیک سیالات باید بدانیم سیال چیست و چه ویژگی‌هایی دارد. اصولاً تمام مواد تنها به دو حالت سیال و جامد در طبیعت موجود هستند. تفاوت اصلی این دو حالت در واقع عکس العمل ماده تحت تنش مماسی یا برشی است. جسم جامد می‌تواند در مقابل تنش برشی مقاومت کند اما تنش برشی روی یک سیال باعث جریان و حرکت در سیال می‌گردد (البته تا هنگامی که تنش برشی اعمال شود). اصطلاح تغییر شکل را برای سیال به آن خاطر به کار نمی‌برند، چرا که ماهیت لغت تغییر شکل آبی بودن را همراه خود دارد در حالی که سیالات تنش برشی یک جریانی را که در طول زمان در حال تغییر است ایجاد می‌کنند. برای نمونه فرض کنید دست را درون ظرف آبی فرو رفته و حرکت داده شود، مشاهده می‌شود که لایه‌های آب به خاطر حرکت دست که موجب اعمال نیرو و به تبع آن ایجاد تنش برشی می‌شوند شروع به حرکت می‌کنند. در اصل جریان ایجاد شده با خروج دست از آب (توقف ایجاد تنش) رو کاهش می‌رود. پس به سادگی می‌توان نتیجه گرفت که این جریان سیال به خاطر اعمال نیروی خارجی بوده است. در حقیقت سیال بر اثر هر هم کنش جریان یافته است و تا زمانی که تنش وجود دارد جریان هم در سیال موجود است و با بیرون آوردن دست تنش حذف ولی برسم کنش در لکولی همچنان ادامه می‌یابد تا سیال به حالت پایدار برسد. تا کنون محققان برجسته‌ای مانند رینولدز، فرود، پرانتل و غیره پی بردند که مطالعه سیالات باید آمیزه‌ای از نظریه و آزمایش باشد. این مطالعات سرآغازی برای رسیدن علم مکانیک سیالات به مرحله کنونی آن بوده است. تسهیلات جدید پژوهش و آزمون که ریاضیدانان و فیزیکدانان، مهندسان و تکنیسین‌های ماهر در کار جمعی از آن استفاده می‌کنند هر دو دیدگاه را به هم نزدیک می‌کند. در واقع می‌توان گفت مکانیک سیالات علمی است که به ما می‌آموزد چطور سیال تحت نیرو واکنش نشان می‌دهد و یا چگونه سیال حرکت می‌کند. به طور مکانیک سیالات به دو دسته استاتیک سیالات و دینامیک سیالات تقسیم می‌شود که اولی مربوط به سیال ساکن و دومی مربوط به سیال متحرک است.