

فهرست مطالب

فصل اول: اصول جریان دوفازی ۲۳

۲۴	۱-۱ مقدمه
۲۴	۲-۱ معادله‌ی کلی انرژی
۲۷	۳-۱ موازنه‌ی جرم
۲۸	۴-۱ موازنه‌ی مومنتوم (اندازه‌ی حرکت)
۳۰	۱-۴-۱ جریان آرام
۳۰	۲-۴-۱ جریان درهم
۳۶	۵-۱ سیالات غیرنیوتنی
۳۶	۱-۵-۱ مدل پاورلا
۳۷	۲-۵-۱ عدد عمومی رینولدز
۳۸	۳-۵-۱ ضریب اصطکاک غیرنیوتنی
۳۸	جریان آرام:
۳۹	۶-۱ افت فشار ناشی از اصطکاک
۴۱	۷-۱ بررسی افت‌های اصطکاک و ضریب اصطکاک
۴۱	۱-۷-۱ جریان تک فازی - آرام
۴۳	۲-۷-۱ جریان تک فازی - درهم
۴۴	۸-۱ جریان تک فازی
۴۴	۱-۸-۱ افت فشار ناشی از تغییر ارتفاع
۴۴	۲-۸-۱ افت فشار ناشی از اصطکاک
۴۴	۳-۸-۱ افت فشار ناشی از شتاب سیال
۴۵	۹-۱ شناسایی متغیرهای جریان دو فازی
۴۵	۱-۹-۱ پسماند مایع

۴۶	..... ۲-۹-۱ کسر بدون لغزش
۴۷	..... ۳-۹-۱ چگالی
۴۸	..... ۴-۹-۱ سرعت
۴۹	..... ۵-۹-۱ سرعت لغزش
۴۹	..... ۶-۹-۱ ویسکوزیته
۵۰	..... ۷-۹-۱ کشش سطحی
۵۰	..... ۱۰-۱ تصحیح معادله‌ی افت فشار برای جریان دوفازی
۵۱	..... ۱۱-۱ اصطکاک دوفازی
۵۳	..... ۱۲-۱ شتاب ناشی از سیال
۵۳	..... ۱۳-۱ رژیم‌های جریان
۵۷	..... ۱۴-۱ به‌دست آوردن اختلافات فشاری
۵۷	..... ۱۵-۱ روش حدس و خطا برای بخش‌بندی طولی
۵۸	..... ۱۶-۱ روش حدس و خطا برای بخش‌بندی فشاری
۶۰	..... زمانی که توزیع دما مجهول است
۶۲	..... ۱۷-۱ ضریب انتقال حرارت
۶۷	..... ۱۸-۱ آنتالپی مخلوط
۶۸	..... ۱۹-۱ تأثیر لغزش بر ترکیب مخلوط
۶۹	..... ۲۰-۱ روش ترکیبی
۷۱	..... ۲۱-۱ تغییرات آنتالپی ترکیب نسبت به فشار و دما
۷۳	..... منابع
۷۴	..... مسائل

فصل دوم: معادلات خواص سیالات ۷۹

۸۰	..... ۱-۲ مقدمه
۸۰	..... ۲-۲ نسبت گاز به نفت محلول
۸۱	..... ۱-۲-۲ معادله‌ی Lasater
۸۴	..... ۲-۲-۲ معادله‌ی Standing
۸۵	..... ۳-۲ ضریب حجمی نفت سازند
۸۶	..... ۴-۲ معادلات جدید برای به‌دست آوردن BO Rs و Co
۸۶	..... ۱-۴-۲ معادله‌ی تخمین چگالی نسبی گاز در فشار 114.7 psi ، 114.7 psi ، 114.7 psi

- ۸۶..... **RscsfSTBO** ، معادله‌ی نسبت گاز به نفت محلول
۸۷. $API \leq 30^\circ$ معادله ضریب حجمی نفت سازند در فشارهای کمتر از فشار نقطه‌ی حباب (۱)
- ۸۷..... معادله‌ی ضریب حجمی نفت سازند در فشارهای بیشتر از نقطه‌ی حباب
- ۸۹..... ۵-۲ سیستم‌های گاز میعانی
- ۹۱..... ۶-۲ محاسبات تعادلی مایع- بخار
- ۹۳..... ۲-۶-۲ فاز بخار
- ۹۵..... ۷-۲ نمودار نقاط حباب و شبنم
- ۹۷..... ۸-۲ ثابت‌های تعادل
- ۹۹..... ۹-۲ معادلات حالت
- ۹۹..... ۱-۹-۲ معادله‌ی حالت **Soave-Redich&Kwong (SRK)**
- ۱۰۰..... ۲-۹-۲ معادله‌ی حالت **Peng & Robinson (PR EOS)**
- ۱۰۰..... ۳-۹-۲ ریشه‌ها
- ۱۰۱..... ۱۰-۲ چگالی
- ۱۰۲..... ۱۱-۲ روش نرم افزاری
- ۱۰۴..... ۱۲-۲ تراکم‌پذیری نفت
- ۱۰۹..... ۱۳-۲ حلالیت گاز طبیعی در آب
- ۱۱۱..... ۱۴-۲ ضریب حجمی آب سازند
- ۱۱۳..... ۱۵-۲ تراکم‌پذیری آب
- ۱۱۶..... ۱۶-۲ چگالی گاز آزاد و محلول
- ۱۱۸..... ۱۷-۲ چگالی نفت
- ۱۱۹..... ۱۸-۲ چگالی آب
- ۱۲۰..... ۱۹-۲ چگالی گاز
- ۱۲۱..... ۲۰-۲ معادله‌ی حالت
- ۱۲۲..... ۲۱-۲ فشار و دمای شبه بحرانی
- ۱۲۳..... ۲۲-۲ ضریب تراکم‌پذیری
- ۱۲۳..... ۲۳-۲ تأثیر ناخالصی‌هایی بر ضریب تراکم‌پذیری
- ۱۲۹..... ۲۴-۲ روش‌های به‌دست آوردن ضریب تراکم‌پذیری (Z)
- ۱۳۲..... ۲۵-۲ ویسکوزیته مایع
- ۱۳۲..... ۲۶-۲ ویسکوزیته نفت بدون گاز
- ۱۳۷..... ۲۷-۲ معادلات نوین برای ویسکوزیته نفت

۱۳۸	.....	۲۸-۲	ویسکوزیته آب
۱۴۰	.....	۲۹-۲	ویسکوزیته امولسیون
۱۴۲	.....	۳۰-۲	ویسکوزیته گاز
۱۴۶	.....	۳۰-۲	کشش سطحی
۱۴۶	.....	۱-۳۰-۲	گاز- نفت
۱۴۸	.....	۲-۳۰-۲	کشش سطحی برای ترکیب هیدروکربن‌ها
۱۵۰	.....	۳-۳۰-۲	کشش سطحی گاز - آب
۱۵۱	.....		منابع
۱۵۴	.....		مسائل

فصل سوم: جریان عمودی ۱۵۹

۱۶۰	.....	۱-۳	مقدمه
۱۶۱	.....	۲-۳	دسته‌بندی معادلات
۱۶۱	.....	۱-۲-۳	معادلات دسته الف
۱۶۱	.....	۲-۲-۳	معادلات دسته ب
۱۶۱	.....	۳-۲-۳	معادلات دسته پ
۱۶۲	.....	۳-۳	رژیم‌های جریان
۱۶۳	.....	۱-۳-۳	جریان حبابی
۱۶۳	.....	۲-۳-۳	جریان لخته‌ای
۱۶۴	.....	۳-۳-۳	جریان انتقالی
۱۶۴	.....	۴-۳-۳	جریان مه‌آلود
۱۶۵	.....	۴-۳	معادلات دسته‌ی الف
۱۶۹	.....	۵-۳	معادلات دسته‌ی ب
۱۷۰	.....	۵-۳	افت فشار ناشی از ارتفاع
۱۷۱	.....	۵-۳	افت فشار ناشی از اصطکاک
۱۷۳	.....	۵-۳	افت فشار ناشی از شتاب
۱۷۶	.....	۶-۳	معادلات دسته‌ی پ
۱۷۷	.....	۱-۶-۳	روش Duns and Ros
۱۸۷	.....	۲-۶-۳	روش Orkiszewski
۱۹۵	.....	۳-۶-۳	روش Aziz, Govier and Fogarasi

۲۰۲.....	Chierici, Ciucci and Sclocehi	روش ۴-۶-۳
۲۰۶.....	Beggs and Brill	روش ۵-۳-۶
۲۰۹.....		۶-۳-۶ شناسایی رژیم جریان
۲۱۶.....		۷-۳ ارزیابی روش‌های پیش‌بینی افت فشار
۲۲۵.....		۸-۳ جریان در لوله‌های حلقوی (آنالوس)
۲۲۷.....		۹-۳ جریان سه فازی (نفت- گاز- آب)
۲۲۹.....		۱۰-۳ جریان دوفازی عمودی روبه‌پایین
۲۳۱.....		۱۱-۳ نمودارهای گرادیان
۲۳۲.....		۱۲-۳ کاربردهای نمودارهای گرادیان عمومی
۲۳۴.....		۱۳-۳ استفاده از نرم افزارها
۲۳۵.....		۱۴-۳ همخوان کردن هیدرولیک چاه با رفتار مخزن
۲۳۷.....		۱۵-۳ پیش‌بینی دما
۲۳۸.....		۱۶-۳ انتقال حرارت در چاه
۲۴۲.....		۱۷-۳ پیش‌بینی دما
۲۴۷.....		منابع
۲۵۰.....		مسائل

فصل چهارم: جریان افقی ۲۵۵

۲۵۶.....		۲-۴ روش‌های به‌دست آوردن افت فشار در جریان افقی
۲۵۶.....	Eaton et. al.	روش ۱-۲-۴
۲۶۲.....	Beggs and Brill	روش ۲-۲-۴
۲۶۳.....	Dukler et. al.	روش ۳-۲-۴ (حالت II- لغزش ثابت)
۲۶۸.....	Guzhov et. al.	روش ۴-۲-۴
۲۶۸.....		۱-۴-۲-۴ جریان لایه‌ای
۲۷۱.....		۲-۴-۲-۴ جریان قالبی
۲۷۲.....	Lockhart & Martinelli	روش ۵-۲-۴
۲۷۲.....	Lockhart & Martinelli	افت فشار اصطکاکی
۲۷۶.....	Yocum	روش ۶-۲-۴
۲۷۸.....	Oliemans	روش ۷-۲-۴
۲۸۱.....		۳-۴ دیگر معادلات کسر حجمی مایع

۲۸۱	Hughmark & Pressburg	۱-۳-۴	روش
۲۸۲	Hughmark	۲-۳-۴	روش
۲۸۳		۴-۴	بررسی روش‌های محاسبه Δp و ضریب اصطکاک
۲۹۱		۵-۴	ارزیابی معادلات کسر حجمی مایع
۲۹۶		۶-۴	شناسایی رژیم‌های جریان افقی
۳۰۷	Taitel and Dukler	۶-۴	الف معادله‌ی موازنه‌ی سیال بدون بعد
۳۱۲	Taitel & Dukler	۶-۴	ب شناسایی رژیم جریان
۳۱۲		۱-۶-۴	تغییر رژیم جریان لایه‌ای به متناوبی (I) یا حلقوی (AD)
۳۱۳		۲-۶-۴	تغییر حالت از متناوبی (I) به حلقوی (AD)
۳۱۴		۳-۶-۴	تغییر حالت از لایه‌ای صاف (SS) به لایه‌ای موجی (SW)
۳۱۵		۴-۶-۴	تغییر حالت جریان از متناوبی (I) به حبابی پراکنده (DB)
۳۱۵		۷-۴	محدوده عمومی رژیم جریان
۳۱۸	Panhandle	۸-۴	استفاده از معادلات در جریان دوفازی
۳۲۸		۹-۴	مشکلات طراحی خط لوله
۳۲۹		۱۰-۴	توپک رانی
۳۳۲		۱۱-۴	پیش‌بینی مشخصه‌های لخته‌ی مایع
۳۳۴		۱۲-۴	فرکانس لخته
۳۳۵		۱۳-۴	سرعت حباب گاز
۳۳۶		۱۴-۴	سرعت لخته‌ی مایع
۳۳۷		۱۵-۴	طول حباب گاز و لخته‌ی مایع
۳۳۸		۱۶-۴	طراحی لخته‌گیر
۳۴۱		۱۷-۴	جریان در لوله‌های بالابرنده
۳۴۵		۱۸-۴	جریان مایع میعان شده در شبکه‌های لوله
۳۵۴		۱۹-۴	به‌کارگیری منحنی‌های گرادیان
۳۵۷			منابع
۳۶۳			مسائل

۳۷۳..... فصل پنجم: جریان شیب‌دار

۳۷۴		۲-۵	معادله‌ی جریان شیب‌دار
۳۷۵		۳-۵	چاه‌های جهت‌دار

۳۷۵.....	۴-۵ روش‌های جریان عمودی.....
۳۷۵.....	۱-۴-۵ روش Beggs and Brill.....
۳۷۷.....	۲-۴-۵ روش Griffith, Lau, Hon and Pearson.....
۳۸۲.....	۵-۵ خطوط لوله.....
۳۸۳.....	۱-۵-۵ روش Flanigan.....
۳۸۸.....	۲-۵-۵ روش Griffith, Mamayev and Odishariya.....
۳۹۱.....	۳-۵-۵ روش Beggs and Brill.....
۳۹۷.....	۴-۵-۵ روش Gregory, Mandhane and Aziz.....
۳۹۹.....	۶-۵ جریان روبه پایین.....
۳۹۹.....	۱-۶-۵ روش Bonneau, Erskine and Greskovich.....
۴۰۰.....	۲-۶-۵ روش Gallyamov and Goldzberg.....
۴۰۱.....	۳-۶-۵ روش Greskovich.....
۴۰۱.....	۴-۶-۵ روش‌های دیگر.....
۴۰۱.....	۷-۵ بررسی معادلات جریان شیب‌دار.....
۴۰۱.....	۱-۷-۵ خط لوله در نواحی کوهستانی.....
۴۰۳.....	۸-۵ پروژه‌ی جامع طراحی.....
۴۰۴.....	۱-۸-۵ داده‌های میدانی.....
۴۰۵.....	۲-۸-۵ خواص سیال.....
۴۰۶.....	۳-۸-۵ محاسبات چاه و سکو.....
۴۰۸.....	۴-۸-۵ محاسبات خط لوله.....
۴۱۰.....	منابع
۴۱۲.....	مسائل

۴۱۵..... فصل ششم: جریان در اتصالات

۴۱۶.....	۱-۶ مقدمه.....
۴۱۶.....	۲-۶ شناسایی ابزارهای محدودکننده جریان.....
۴۲۰.....	۳-۶ جریان بحرانی در برابر جریان زیر بحرانی.....
۴۲۲.....	۴-۶ جریان تک‌فازی زیر بحرانی.....
۴۲۲.....	۱-۴-۶ مایعات.....
۴۲۶.....	۲-۴-۶ گازها.....

۴۲۷	..... ۵-۶ جریان دوفازی
۴۳۲	..... ۶-۶ معادلات جریان بحرانی
۴۳۴	..... Poettmann & Beck ۱-۶-۶ روش
۴۳۶	..... Omana ۲-۶-۶ روش
۴۳۹	..... Ashford ۳-۶-۶ معادله‌ی جریان بحرانی
۴۴۳	..... ۷-۶ معادلات جریان زیر بحرانی
۴۴۵	..... Ashford & Pierce ۸-۶ الگوی
۴۴۶	..... API 14B ۹-۶ الگوی
۴۵۱	..... ۱۰-۶ الگوی دانشگاه تولسا
۴۵۲	..... ۱۱-۶ ارزیابی معادلات
۴۵۲	..... ۱-۱۱-۶ جریان بحرانی
۴۵۳	..... ۲-۱۱-۶ جریان زیر بحرانی
۴۵۴	..... ۱۲-۶ پیش‌بینی جریان دوفازی بحرانی
۴۵۸	..... منابع
۴۶۰	..... مسائل

۴۶۱..... Pipephase v9.1 تحت نرم‌افزار Pipephase v9.1 فصل هفتم: جریان دوفازی

۴۶۲	..... ۱-۷ مقدمه
۴۶۲	..... ۲-۷ نحوه نصب نرم افزار
۴۶۲	..... Pipephase ۳-۷ شروع کار با نرم افزار
۴۶۲	..... Pipephase ۱-۳-۷ شروع نرم افزار
۴۶۴	..... ۲-۳-۷ استفاده از منوها
۴۶۴	..... ۴-۳-۷ جهت نمایش یک منو
۴۶۴	..... ۵-۳-۷ انتخاب یک منو
۴۶۴	..... ۶-۳-۷ دکمه‌های نوار ابزار
۴۶۵	..... ۱-۶-۳-۷ استفاده از دکمه تغییر حالت و اندازه در فایل
۴۶۵	..... ۲-۶-۳-۷ استفاده از دکمه‌های ساختاری و عملیاتی
۴۶۵	..... ۳-۶-۳-۷ استفاده از دکمه‌های محاسبات بهینه سازی و پارامترها
۴۶۶	..... ۴-۶-۳-۷ استفاده از دکمه‌های بزرگ نمایی و کوچک نمایی
۴۶۶	..... ۷-۳-۷ نوار منو

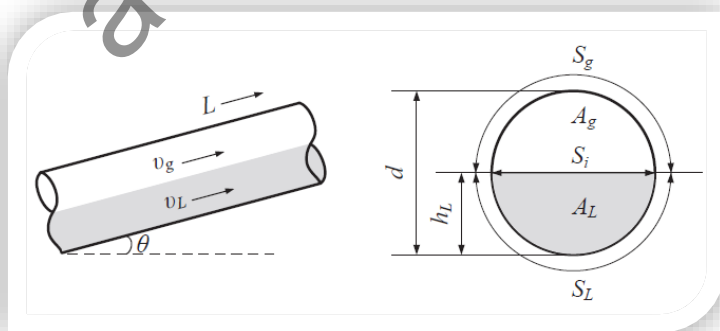
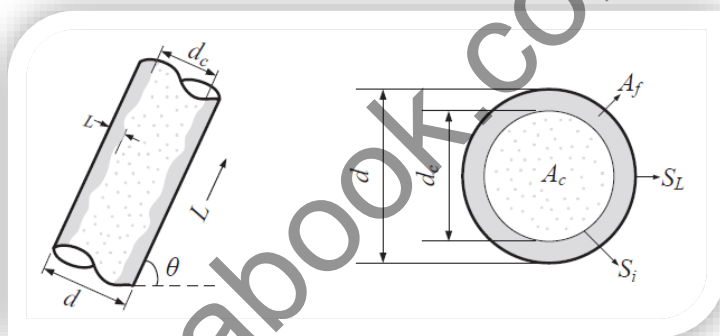
۴۶۶	.....	File	منوی ۱-۷-۳-۷
۴۶۷	.....	Edit	منوی ۲-۷-۳-۷
۴۶۹	.....	View Output	منوی ۳-۷-۳-۷
۴۷۱	.....	General	منوی ۴-۷-۳-۷
۴۸۴	.....	Special Features	منوی ۵-۷-۳-۷
۵۰۱	.....	Help	منوی ۸-۷-۳-۷
۵۰۱	.....	Pipephase	نحوه شروع شبیه سازی یک پروژه در نرم افزار
۵۰۴	.....	Link	تشریح تجهیزات در پنجره
۵۲۱	.....	Excel	اجرای نتایج در محیط
۵۲۳	.....		شبیه سازی یک مدل نفت سیاه (مهندسی نفت)
۵۲۳	.....		۱-۷-۷ مدل شبیه سازی
۵۵۵	.....		۶-۷ شبیه سازی خط لوله گاز (مهندسی شیمی)
۵۵۵	.....		۱-۶-۷ مدل شبیه سازی
۵۷۷	.....	Line Sizing	نحوه ۲-۶-۷

avabook.com

avabook.com

فصل اول

اصول جریان دوفازی



$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_G} = \frac{v_{LS}}{v_M} \quad H_G = 1 - H_L$$

۱-۱ مقدمه

در صنعت نفت پیش‌بینی افت فشار و کسر حجمی مایع^۱ بسیار حائز اهمیت است. این پارامترها در لوله‌های با جریان همزمان گاز و مایع رخ می‌دهند و تجزیه و تحلیل این نوع رفتارها برای ساخت و بهره‌برداری بهتر از تأسیسات صنعتی حائز اهمیت است. مهندسان نفت در لوله مغزی و چاه‌های نفت با جریان‌های دوفازی روبرو می‌شوند. گاهی جریان به صورت عمودی، شیب‌دار یا افقی است. بنابراین، نیاز به روش متفاوتی جهت محاسبه افت فشار در لوله‌ها با شیب‌های مختلف را داریم. میادین فلات قاره دارای محصولاتی با ترکیبات گاز و مایع است، مهندسان ناچارند سیالات را پیش از جداسازی از سر چاه تا واحد بهره‌برداری توسط خطوط لوله انتقال دهند. هر مهندسی علاوه بر طراحی اندازه لوله‌ها، باید براساس معیارهای افت فشار در محل‌های مختلف، مقدار مایع را پیش‌بینی کند، تا بتواند تجهیزات تفکیک‌گر و لخته‌گیر^۲ را طراحی کنند.

در صنعت جریان‌های دوفازی زیاد دیده می‌شود و ساخت تجهیزاتی مانند: کندانسورها، مبدل‌های حرارتی، راکتورها و لوله‌ها نیاز به پیش‌بینی افت فشار و کسر حجمی مایع دارد و از نظر انتقال حرارت نیازمند الگوی جریان هستیم.

این فصل، به بررسی جریان‌های دوفازی، شناسایی روش‌های ساخت و کاربرد روش‌های مختلف است.

۱-۲ معادله‌ی کلی انرژی

معادله‌ی انرژی بیان‌کننده موازنه یا بقای انرژی در دو نقطه از یک سیستم است، این معادله شیمیایی بسیاری از معادلات در سیالات است. در ابتدا معادله‌ی انرژی را بیان می‌کنیم. آن‌گاه با به‌کار بردن قوانین ترمودینامیک آن را به معادله‌ی گرادیان فشار تبدیل می‌کنیم.

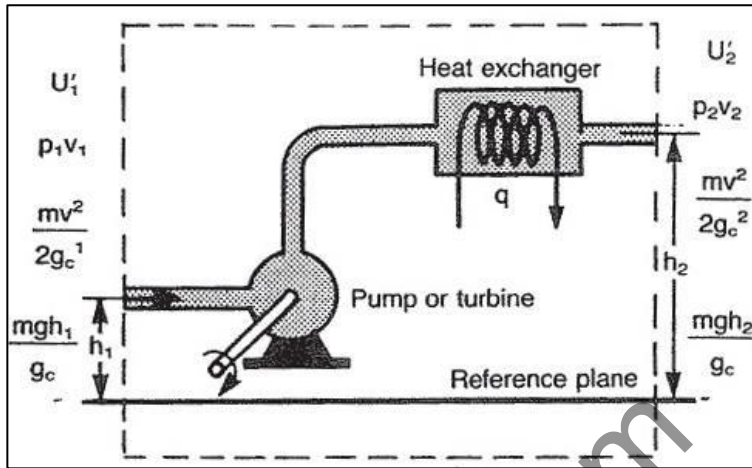
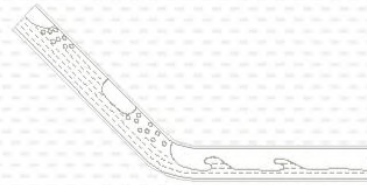
موازنه‌ی انرژی بیانگر این است: انرژی سیالی که وارد حجم کنترل^۳ می‌شود، علاوه بر کاری که روی سیال انجام می‌شود یا کاری که سیال انجام می‌دهد، هم چنین گرمایی که از سیال گرفته شده است یا به آن داده شده است و تغییر انرژی بر زمان در درون حجم کنترل، باید برابر مقدار انرژی باشد که از حجم کنترل خارج می‌شود.

شکل (۱-۱) نمایانگر این قانون است.

^۱- Liquid holdup

^۲- Slug catching

^۳- Control volume



شکل ۱-۱: شمای حجم کنترل

با فرض سیستمی تحت شرایط پایا معادله‌ی انرژی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$U_1' + P_1 V_1 + \frac{mv_1^2}{2g_c} + \frac{mgz_1}{g_c} + q' + W_s' = U_2' + P_2 V_2 + \frac{mv_2^2}{2g_c} + \frac{mgz_2}{g_c} \quad \dots \quad 1-1$$

که در معادله بالا:

U' : انرژی داخلی

PV : انرژی انبساطی یا متراکم شدن

$\frac{mv^2}{2g_c}$: انرژی جنبشی

$\frac{mgz}{g_c}$: انرژی پتانسیل

q' : گرمای داده شده به سیال

W_s' : کار انجام شده روی سیال

Z : ارتفاع بالای سطح مبنا^۱

با تقسیم این معادله بر m معادله‌ی انرژی بر واحد جرم به دست می‌آید که در فرم دیفرانسیلی

به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$dU + d\left(\frac{P}{\rho}\right) + \frac{v dv}{g_c} + \frac{g}{g_c} dz + dq + dw_s = 0 \quad \dots \quad 2-1$$

^۱ - Reference datum

استفاده از معادله‌ی (۲-۱) با داشتن ترمی به نام انرژی داخلی بسیار سخت است. بنابراین، با استفاده از علم ترمودینامیک این معادله را به صورت موازنه‌ی انرژی مکانیکی می‌نویسیم:

$$dU = dh - d\left(\frac{P}{\rho}\right) \dots\dots\dots ۳-۱$$

و

$$dh = Tds + \frac{dP}{\rho} \dots\dots\dots ۴-۱$$

یا

$$dU = Tds + \frac{dP}{\rho} - d\left(\frac{P}{\rho}\right) \dots\dots\dots ۵-۱$$

که در معادلات بالا:

h : آنتالپی ویژه

S : آنتروپی

T : دما

با جایگزینی معادله‌ی (۵-۱) در (۲-۱):

$$Tds + \frac{dP}{\rho} - d\left(\frac{P}{\rho}\right) + d\left(\frac{P}{\rho}\right) + \frac{v dv}{g_c} + \frac{g}{g_c} dz + dq + dw_s = 0 \dots\dots\dots ۶-۱$$

برای فرآیند برگشت‌ناپذیر^۱، نابرابری بلازیوس را بصورت زیر داریم:

$$ds \geq \frac{-dq}{T} \dots\dots\dots ۷-۱$$

و

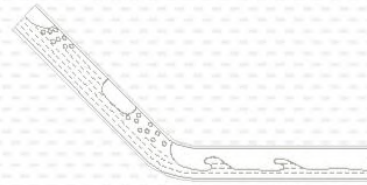
$$Tds = -dq + dL_w \dots\dots\dots ۸-۱$$

که در آن dL_w افت‌های ناشی از برگشت‌ناپذیری^۲ مانند اصطکاک است. با این فرض که سیال هیچ‌کاری انجام نمی‌دهد یا کاری روی آن انجام نمی‌شود، معادله‌ی (۶-۱) بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{dp}{\rho} + \frac{v dv}{g_c} + \frac{g}{g_c} dZ + dL_w = 0 \dots\dots\dots ۹-۱$$

^۱- Irreversible

^۲- Irreversibility



اگر مطابق شکل (۲-۱) لوله‌ای با سطح افق دارای زاویه یا شیب ϕ باشد، آن گاه خواهیم داشت:
 $dZ = dL \sin \phi$ ۱۰-۱

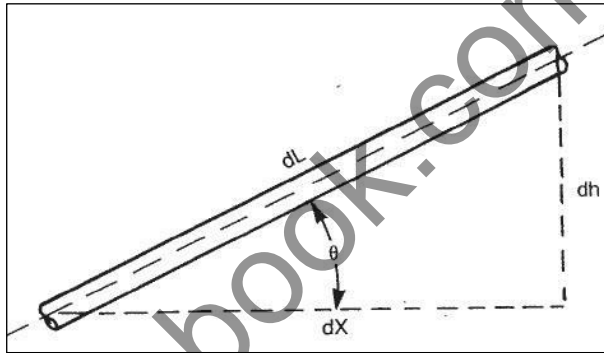
بنابراین معادله‌ی (۹-۱) بصورت زیر نوشته خواهد شد:

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{v dv}{g_c} + \frac{g}{g_c} dL \sin \phi + dL_w = 0 \text{ ۱۱-۱}$$

با ضرب نمودن این معادله در عبارت $\frac{\rho}{dL}$:

$$\frac{dP}{dL} + \frac{\rho v dv}{g_c dL} + \frac{g}{g_c} \rho \sin \phi + \rho \frac{dL_w}{dL} = 0 \text{ ۱۲-۱}$$

افت فشار منفی به دست می‌آید برای این که افت فشار مثبت شود در یک علامت منفی ضرب می‌شود.



شکل ۱-۲: شمای هندسی جریان

۳-۱ موازنه‌ی جرم

موازنه‌ی جرم به این معناست که برای حجم کنترلی مانند بخشی از یک لوله، جرم ورودی منهای جرم خروجی، برابر با تجمع جرم است. برای لوله‌ی با سطح مقطع ثابت داریم:

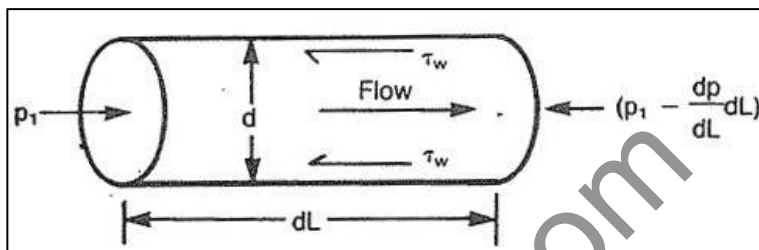
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial L}(\rho v) = 0 \text{ ۱۳-۱}$$

برای جریان پایا، ρv ثابت است و تجمع جرم نداریم، بنابراین معادله (۱۳-۱) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{d}{dL}(\rho v) = 0 \text{ ۱۴-۱}$$

۱-۴ موازنه‌ی مومنتوم (اندازه‌ی حرکت)

قانون اول نیوتن برای جریان سیال در لوله‌ها بیان می‌کند که دبی مومنتوم خروجی، منهای دبی مومنتوم ورودی، علاوه بر دبی مومنتوم انباشته شده در یک بخش از لوله برابر با برآیند همهی نیروهای وارد بر سیال است. شکل‌های (۱-۱) تا (۳-۱)، حجم کنترل و متغیرهای آن را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۳: موازنه‌ی نیرو

موازنه‌ی مومنتوم خطی بصورت زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial L}(\rho v^2) = -\frac{\partial p}{\partial L} - \tau \frac{\pi d}{A} - \rho g \sin \theta \quad \dots \quad 15-1$$

دبی مومنتوم بصورت زیر ساده‌تر می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial L}(\rho v^2) = v \frac{d}{dL}(\rho v) + \rho v \frac{dv}{dL} \quad \dots \quad 16-1$$

با فرض این‌که جریان پایا است، سرعت انباشتگی اندازه‌ی حرکت برابر صفر خواهد شد،

$$\left(\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} \right) = 0$$

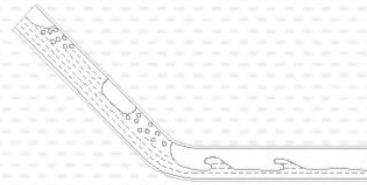
آن‌گاه با ترکیب معادلات (۱۴-۱)، (۱۵-۱) و (۱۶-۱)، معادله‌ی (۱۷-۱) به دست

خواهد آمد.

$$\rho v \frac{dv}{dL} = -\frac{\partial p}{\partial L} - \tau \frac{\pi d}{A} - \rho g \sin \theta \quad \dots \quad 17-1$$

برحسب افت فشار خواهیم داشت:

$$\frac{dp}{dL} = -\tau \frac{\pi d}{A} - \rho g \sin \theta - \rho v \frac{dv}{dL} \quad \dots \quad 18-1$$



از این معادله با نام معادله‌ی موازنه‌ی انرژی مکانیکی یاد می‌شود و شباهت زیادی با معادله‌ی (۱-۱) دارد. بنابراین، معادله‌ی افت فشار در حالت پایا، نتایج کاربرد قانون‌های موازنه‌ی جرم و موازنه‌ی اندازه‌ی حرکت است.

معادله (۱-۱۸) گویای این است که افت فشار در حالت پایا دارای سه بخش است. بخش اول آن، ناشی از تنش سیال روی دیواره‌ی لوله است، که در در فصل‌های بعدی بیشتر درباره‌ی آن بحث خواهیم کرد. افت ناشی از تنش سیال روی دیواره‌ی لوله، شامل ۵ تا ۲۰ درصد از کل افت فشار در چاه‌ها و نزدیک به صددرصد افت فشار در لوله‌ی افقی است. بخش دوم معادله‌ی (۱-۱۸)، افت ناشی از تغییرات فشار هیدرواستاتیکی است. در چاه‌ها این بخش، بسیار قابل توجه است و نزدیک به ۸۰ تا ۹۵ درصد از افت فشار در ارتباط با این بخش است. بررسی این بخش برای لوله‌های افقی بسیار ناچیز است، ولی برای لوله‌های شیبدار، بیشتر برابر با بخش تنش دیواره‌ای خواهد بود. ترم آخر نیز ناشی از تغییرات سرعت است که از آن بیشتر با نام ترم شتابی یا ترم انرژی جنبشی یاد می‌شود. همیشه از آن صرف نظر می‌شود و تنها زمانی مهم است که فاز تراکم‌پذیر^۱ را در فشار پایین داشته باشیم.

همیشه در جریان‌های رو به بالا، افت فشار داریم. همیشه افت فشار در راستای جریان را مثبت فرض می‌کنیم. بنابراین، معادله‌ی (۱-۱۸) باید در (-۱) ضرب شود تا افت فشار مثبت شود.

برای مشخص کردن مقدار تنش سیال روی دیواره‌ی لوله، ضریب بدون بعد اصطکاک تعریف می‌شود. تنش دیواره‌ای تقسیم بر انرژی جنبشی سیال در واحد حجم، ضریب اصطکاک را می‌دهد، بنابراین:

$$f' = \frac{\tau_w}{\rho v^2} \dots\dots\dots 19-1$$

که در آن f' ضریب اصطکاک Fanning است. در این نمودار^۲ نیز ضریب اصطکاک Darcy - Weisbach یا Moody به کار برده می‌شود، که چهار برابر ضریب اصطکاک Fanning است. معادله‌ی (۱-۱۹) می‌تواند برای مشخص کردن تنش دیواره‌ای به کار برود.

$$\tau = f \frac{\rho v^2}{8} \dots\dots\dots 20-1$$

هنگامی که معادله (۱-۲۰) را در معادله (۱-۱۸) جایگزین کنیم، ترم افت فشار ناشی از تنش دیواره‌ای، بصورت زیر نوشته می‌شود:

^۱- Compressible

^۲- Monograph

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_f = \left(\frac{f\rho v^2}{8}\right) \left(\frac{\pi d}{\pi d^2}\right) = \frac{f\rho v^2}{2d} \dots\dots\dots 21-1$$

از این معادله بیشتر با نام معادله‌ی Darcy - Weisbach نام می‌برند. استفاده از این معادله نیاز به اندازه‌گیری و مشخص کردن ضریب اصطکاک دارد. برای این کار، در ابتدا باید مشخص شود که جریان آرام یا درهم است. اگر عدد رینولدز کمتر از مقدار ۲۰۰۰ باشد، جریان را آرام می‌گویند. در این حالت عدد رینولدز نیز بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$N_{Re} = \frac{\rho v d}{\mu} \dots\dots\dots 22-1$$

۱-۴-۱ جریان آرام

برای جریان آرام می‌توان معادله‌ای تحلیلی برای مشخص کردن ضریب اصطکاک به دست آورد. در جریان آرام، توزیع سرعت را می‌توان انتگرال‌گیری کرد، تا معادله افت فشار به دست آید. این کار برای جریان در لوله‌های مویینه‌ی افقی انجام شده است که معادله‌ی Poiseuille نام دارد.

$$v = \frac{d^2}{32\mu} \left(\frac{dp}{dL}\right) \dots\dots\dots 23-1$$

در معادله‌ی (۲۳-۱) چون افت فشار ناشی از تنش دیواره‌ای می‌باشد، بنابراین، افت فشار برابر با معادله‌ی (۲۱-۱) است، از ترکیب این دو معادله، معادله‌ای زیر به دست می‌آید:

$$f = \frac{64\mu}{\rho v d} = \frac{64}{N_{Re}} \dots\dots\dots 24-1$$

۱-۴-۲ جریان درهم

توانایی در پیش‌بینی رفتار جریان درهم، به‌طور واضحی حاصل تحقیقات آزمایشگاهی مختلف در ارتباط با توزیع سرعت و افت فشار است. این تحقیقات نشان دهنده این هستند که توزیع سرعت و افت فشار به ویژگی‌های دیواره‌ی لوله بستگی زیادی دارند. روش پسندیده در جریان درهم برای به دست آوردن ضریب اصطکاک، این است که از ساده‌ترین نوع آن آغاز کنیم، آن‌گاه رفته رفته انواع پیچیده‌تر را بررسی می‌کنیم. بنابراین، از دیواره‌ی صاف آغاز کرده، سپس دیواره‌ی نیمه زبر و در پایان دیواره‌ی کاملاً زبر را بررسی می‌کنیم.