دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

حل جریان دو فازی اطراف یک مانع مربعی به روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH)

استاد راهنما:

دکتر پوریا امیدوار

استاد مشاور:

دکتر پرویز درویشی

پژوهشگر:

علیرضا رزازان

۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

پایان نامه حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر پوریا امیدوار و مشاوره جناب آقای دکتر پرویز درویشی از آن دفاع شده است. و کلیه حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

حل جریان دو فازی اطراف یک مانع مربعی به روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH)

به وسیله:

علیرضا رزازان

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

در تاریخ ..... توسط هیأت داوران زیر و با درجه ..... به تصویب نهایی رسید.

۱.	استاد راهنما:	دکتر پوریا امیدوار	با مرتبه علمی استادیار	امضاء.
۲.	استاد مشاور:	دکتر پرویز درویشی	با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۳.	استاد داور داخل گروه:	دکتر امین موسائی	با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۴.	استاد داور خارج گروه:	دکتر محمود رضا رحیمی	با مرتبه علمی دانشیار	امضاء
۵.	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه:	دکتر محمد پروین نیا	با مرتبه علمی استادیار	امضاء

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به :

پدر بزرگوار ، مادر مهربانم و خواهر عزیزم

و

دوست و استاد بزرگوارم دکتر مجید مصلح

سپاسگذاری

در اینجا بر خود واجب می‌دانم مراتب سپاس و قدردانیم را خدمت اساتید بزرگوارم دکتر پوریا امیدوار و دکتر پرویز درویشی عرض نمایم، و از آنها به خاطر صبوری و زحمات بی دریغشان سپاسگذاری کنم. همچنین از تمامی اساتید بزرگوارم در دانشگاه یاسوج که صبورانه این بنده حقیر را تحمل کردند بی نهایت متشکرم، و از خداوند منان برای تمامی این بزرگواران آرزوی طول عمر، سلامتی و توفیق روز افزون را آرزومندم. به ویژه اساتید بزرگوارم دکتر زنده بودی و دکتر موسائی و دکتر امیدوار که در تربیت اخلاقی اینجانب نقش بزرگی را ایفا نمودند. و همچنین دوست و استاد عزیزم دکتر مجید مصلح که همیشه و در تمام مراحل پشتیبان من بودند و هیچگاه من را تنها نگذاشتند و همواره مرا از دریای علم خودشان بهره‌مند ساختند.

و من الله التوفیق.

نام : علیرضا	**نام خانوادگی : رزازان**
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد	**رشته و گرایش : مکانیک تبدیل انرژی**
استاد راهنما : دکتر پوریا امیدوار	**تاریخ دفاع :۹۳/۷/۲۰**

حل جریان دو فازی اطراف یک مانع مربعی به روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH)

چکیده :

هدف از این پایان نامه شبیه سازی جریان دو فازی اطراف یک مانع به روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH) می‌باشد. در ابتدا و با استفاده از کدهای رایگان SPHysics-2D جریان تک فازی توسعه یافته درون کانال مورد شبیه سازی قرار گرفت و نتایج حاصل با نتایج تحلیلی مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. در ادامه جریان درون کانال حول یک مانع مربعی مورد بررسی واقع می‌شود و نتایج آن با داده‌های حاصل از حل تحلیلی و نتایج CFX مورد مقایسه و ارزشیابی قرار خواهد گرفت. نتایج درون کانال حول مانع مربعی نشان می‌دهد که، به دلیل شرایط مرزی مورد استفاده در روش هیدرودینامیک ذرات هموار، نتایج روش SPH با نتایج حل تحلیلی و CFX تا حدودی اختلاف دارند. در ادامه و با توسعه کد SPHysics-2D نتایج حاصل از جریان دو فازی درون کانال و همچنین جریان دو فازی درون کانال با مانع نشان داده می‌شود. همچنین حرکت قطره‌ی روغن درون یک مخزن و درون کانال را نیز مورد تجزیه و تحلیل خواهیم داد. در تمامی مراحل شبیه سازی جریان به صورت آرام فرض شد.

کلمات کلیدی : جریان دو فازی، هیدرودینامیک ذرات هموار، SPH، جریان درون کانال، کشش سطحی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- فصل اول ---------- ۱
۱-۱- اهمیت سیالات دو فازی و کاربردهای صنعتی ---------- ۱
۱-۲- اهمیت بررسی سیالات دو فازی ---------- ۲
۱-۳- الگوهای جریان‌های دو فازی گاز- مایع ---------- ۳
۱-۴- خواص و پدیده‌های جریان دو فازی ---------- ۶
۱-۴-۱- چند تعریف از جریان دو فازی ---------- ۷
۱-۵- انتقال الگوی جریان ---------- ۹
۱-۶- حل عددی برای جریان‌های دو فازی ---------- ۹
۱-۷- اهمیت روش‌های عددی در مکانیک سیالات ---------- ۱۰
۱-۸- CFD و مزایای استفاده از آن در مکانیک سیالات ---------- ۱۱
۱-۹- خلاصه فصل اول ---------- ۱۳
۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در جریان دو فازی و روش هیدرودینامیک ذرات هموار ------- ۱۶
۲-۱- مقدمه ---------- ۱۶
۲-۲- دیدگاه‌های مرجع در مدل سازی سیال ---------- ۱۵
۲-۳- مدل‌های عددی شبیه سازی با سطح مشترک ---------- ۱۶
۲-۴- حرکت سیال ---------- ۱۶
۲-۴-۱- مدل‌های لاگرانژی ---------- ۱۷
۲-۴-۱-۱ - مدل جابجایی سلول‌های محاسباتی ---------- ۱۷
۲-۴-۱-۲ - مدل جبهه پیش رونده ---------- ۱۷
۲-۴-۱-۳ - مدل انتگرالی سلول‌های مرزی ---------- ۱۸
۲-۴-۲- مدل‌های اویلری ---------- ۱۸
۲-۴-۲-۱ - مدل کسر حجمی سیال ---------- ۱۹
۲-۴-۲-۲ - مدل لول ست ---------- ۱۹
۲-۵- روش‌های بدون شبکه ---------- ۲۰
۲-۶- روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH) ---------- ۲۱
۲-۷- کاربرد روش هیدرودینامیک ذرات هموار (SPH) در مکانیک سیالات ---------- ۲۳
۲-۸- SPH برای جریان‌های دو فازی ---------- ۲۶
۲-۸-۱- مدل سازی کشش سطحی در SPH ---------- ۲۶
۲-۹- خلاصه فصل دوم ---------- ۲۷
۳- معادلات روش هیدرودینامیک ذرات هموار ---------- ۲۹
۳-۱- مقدمه ---------- ۲۹
۳-۱-۱- تعریف ذره ---------- ۲۹

۳-۲- فرمول بندی ریاضی ---------- ۲۹
۳-۲-۱- اساس هیدرودینامیک ذرات هموار ---------- ۲۹
۳-۲-۲- عملگر دیورژانس $\nabla\cdot$ ---------- ۳۰
۳-۲-۳- عملگر گرادیان (∇) ---------- ۳۱
۳-۲-۴- خصوصیات و ویژگی‌های تابع کرنل ---------- ۳۲
۳-۳- معادلات حاکم در SPH ---------- ۳۶
۳-۳-۱- معادلات بقای حاکم ---------- ۳۶
۳-۳-۲- معادله اولر ---------- ۳۶
۳-۳-۳- معادله پیوستگی ---------- ۳۷
۳-۴- معادله ممنتوم ---------- ۳۸
۳-۴-۱-۱ - ویسکوزیته مصنوعی ---------- ۳۸
۳-۴-۱-۲ - ویسکوزیته حالت آرام و جریان لایه‌ای ---------- ۳۸
۳-۴-۲- کشش سطحی ---------- ۳۹
مدل‌های اعمال کشش سطحی در مرز مشترک دو سیال ---------- ۳۹
اعمال کشش سطحی در مرز مشترک دو سیال ---------- ۴۰
۳-۴-۳- معادله حالت ---------- ۴۰
۳-۵- شرط CFL و شرط نیروهای داخلی و خارجی برای انتخاب بازه زمانی ---------- ۴۲
۳-۶- شرایط مرزی در روش هیدرودینامیک ذرات هموار ---------- ۴۳
۳-۷- گام زمانی در گسته سازی به روش هیدرودینامیک ذرات هموار ---------- ۴۴
۳-۸- خلاصه فصل سوم ---------- ۴۵
۴- نتایج ---------- ۴۵
۴-۱- جریان درون کانال ---------- ۴۵
۴-۱-۱- تعریف مسئله ---------- ۴۵
۴-۱-۲- حل تحلیلی ---------- ۴۵
۴-۱-۲-۲ - معادلات حاکم ---------- ۴۵
۴-۲- شبیه سازی جریان یک فازی درون کانال ---------- ۴۷
۴-۲-۱- شبیه سازی جریان یک فازی درون کانال در رینولدز ۱۰ ---------- ۴۷
۴-۲-۲- بررسی حرکت ذرات درون کانال در رینولدز ۱۰ ---------- ۵۱
۴-۲-۳- جریان یک فازی درون کانال در رینولدز ۵۰ ---------- ۵۲
۴-۳- تحلیل جریان درون کانال حول یک مانع ---------- ۵۷
۴-۳-۱- تعریف مسئله ---------- ۵۷
۴-۳-۲- جریان تک فازی درون کانال همراه با مانع در رینولدز ۱۰ ---------- ۵۷
۴-۳-۳- جریان تک فازی درون کانال حول مانع در رینولدز ۵۰ ---------- ۶۱
۴-۴- شبیه سازی جریان دو فازی درون یک مخزن به روش SPH ---------- ۶۲
۴-۵- جریان دو فازی درون کانال ---------- ۶۴
۴-۵-۱- تعریف مسئله ---------- ۶۴
۴-۵-۲- حل تحلیلی ---------- ۶۴

۴-۵-۲-۱ - معادلات حاکم ---------- ۶۴
۴-۵-۲-۲ - شرایط مرزی و روابط نهایی ---------- ۶۵
۴-۶- جریان دو فازی درون کانال در رینولدز ۲۰ ---------- ۶۵
۴-۷- جریان دو فازی درون کانال همراه با مانع ---------- ۶۷
۴-۸- حرکت قطره درون مخزن ---------- ۶۹
۴-۸-۱- تعریف مسئله ---------- ۶۹
۴-۸-۲- حرکت قطره درون مخزن همراه با مانع ---------- ۷۱
۴-۹- حرکت قطره روغن درون کانال ---------- ۷۳
۴-۹-۱- تعریف مسئله ---------- ۷۳
۴-۹-۲- شبیه سازی حرکت قطره روغن درون کانال ---------- ۷۴
۴-۱۰- خلاصه فصل چهارم ---------- ۷۴
۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ---------- ۷۴
۵-۱- نتیجه گیری ---------- ۷۴
۵-۱-۱- جریان سیال تک فاز درون کانال ---------- ۷۷
۵-۱-۲- جریان تک فازی حول مانع درون کانال ---------- ۷۷
۵-۱-۳- جریان دو فازی درون یک مخزن به صورت ایستا ---------- ۷۷
۵-۱-۴- جریان دو فازی درون کانال ---------- ۷۷
۵-۱-۵- جریان دو فازی درون کانال حول مانع ---------- ۷۷
۵-۱-۶- حرکت قطره روغن درون یک مخزن و حول یک مانع ---------- ۷۸
۵-۱-۷- حرکت یک قطره روغن درون یک کانال ---------- ۷۸
۵-۳- پیشنهادات ---------- ۷۸
۶ - منابع ---------- ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل دوم

شکل ۲-۱ : جریان دو فازی درون لوله‌های افقی ---------- ۶

شکل ۲-۲ : جریان دو فازی درون لوله‌های عمودی ---------- ۶

شکل۲-۱ : دیدگاه لاگرانژی در مکانیک سیالات ----------۱۷

شکل۲-۲ : دیدگاه اویلری ----------۱۹

شکل ۲-۳ : مرز مشترک دو سیال ----------۲۷

فصل سوم

شکل ۳-۱ : نمایش فاصله بین دو ذره ----------۳۰

شکل ۳-۲ : مشتق تابع کرنال در مرتبههای مختلف----------۳۴

شکل ۳-۳ : تابع کرنل مرتبه سوم (سمت راست) و کرنل مرتبه چهارم (سمت چپ) ----------۳۴

شکل ۳-۴ : کرنل گوسی (سمت راست) کرنل مرتبه پنجم (سمت چپ) ----------۳۴

شکل ۳-۵ : ذرات همسایه درون کرنل ----------۳۵

شکل ۳-۶ : نحوه انتخاب کرنل ----------۳۵

فصل چهارم

شکل ۴-۱ : مدل فیزیکی شبیه سازی درون کانال ----------۴۵

شکل ۴-۲ : شبیه سازی جریان تک فازی در رینولدز ۱۰ به روش هیدرودینامیک ذرات هموار ----------۴۸

شکل ۴-۳ : مقایسه SPH با CFX در رینولدز ۱۰----------۴۸

شکل ۴-۴ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه----------۴۹

شکل ۴-۵ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه----------۴۹

شکل ۴-۶ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه ----------۴۹

شکل ۴-۷ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ----------۴۹

شکل ۴-۸ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ----------۵۰

شکل ۴-۹ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ----------۵۰

شکل ۴-۱۰ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۷ ثانیه ----------۵۰

شکل ۴-۱۱ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۷ ثانیه ----------۵۱

شکل ۴-۱۲ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۷ ثانیه ----------۵۱

شکل ۴-۱۳ :یک ردیف افقی از ذرات درون کانال در رینولدز ۱۰----------۵۲

شکل ۴-۱۴ : حرکت یک دسته از ذرات عمودی درون کانال در طی زمان‌های مختلف ----------۵۲

شکل ۴-۱۵ : شبیه سازی جریان یک فازی درون کانال در رینولدز ۵۰ به روش هیدرودینامیک ذرات هموار ۵۳

شکل ۴-۱۶ : مقایسه کانتورهای سرعت بین CFX و هیدرودینامیک ذرات هموار ----------۵۳

شکل ۴-۱۷ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه ---------- ۵۴
شکل ۴-۱۸ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه ---------- ۵۴
شکل ۴-۱۹ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۳ ثانیه ---------- ۵۴
شکل ۴-۲۰ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ---------- ۵۵
شکل ۴-۲۱ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ---------- ۵۵
شکل ۴-۲۲ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۱ در زمان ۵ ثانیه ---------- ۵۵
شکل ۴-۲۳ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۳ در زمان ۷ ثانیه ---------- ۵۶
شکل ۴-۲۴ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۳ در زمان ۷ ثانیه ---------- ۵۶
شکل ۴-۲۵ : پروفایل سرعت در مقطع شماره ۳ در زمان ۷ ثانیه ---------- ۵۶
شکل ۴-۲۶ : هندسه کانال در هنگام قرار گیری مانع درون کانال ---------- ۵۷
شکل ۴-۲۷ : چیدمان ذرات اطراف مانع ---------- ۵۷
شکل ۴-۲۸ : بررسی جریان تک فازی درون کانال با مانع به روش هیدرودینامیک ذرات هموار در رینولدز ۱۰ ---------- ۵۸
شکل ۴-۲۹ : بررسی جریان تک فازی درون کانال با مانع در رینولدز ۱۰ با CFX ---------- ۵۸
شکل ۴-۳۰ : پروفایل سرعت در مقطع ۱ و ۳ در رینولدز ۱۰ ---------- ۵۹
شکل ۴-۳۱ : پروفایل سرعت در مقطع ۲ در رینولدز ۱۰ ---------- ۵۹
شکل ۴-۳۲ : بررسی حرکت ذرات و نحوه شکل گیری پروفایل سرعت قبل از مانع درون کانال ---------- ۶۰
شکل ۴-۳۳ : مقایسه کانتورهای سرعت عمودی در روش هیدرودینامیک ذرات هموار و CFX ---------- ۶۱
شکل ۴-۳۴ : شبیه سازی جریان درون کانال با مانع در رینولدز ۵۰ به روش هیدرودینامیک ذرات هموار --- ۶۱
شکل ۴-۳۵ : شبیه سازی کانتورهای سرعت افقی جریان تک فازی درون کانال با مانع در رینولدز ۵۰ ------ ۶۱
شکل ۴-۳۶ : بررسی پروفایل سرعت در مقطع ۱ و۳ در رینولدز ۵۰ ---------- ۶۲
شکل ۴-۳۷ : بررسی پروفایل سرعت در مقطع ۲ در رینولدز ۵۰ ---------- ۶۲
شکل ۴-۳۹ : کانتورهای فشار (پاسکال) در مخزن حاوی آب و روغن در زمان ۵ ثانیه ---------- ۶۳
شکل ۴-۴۰ : کانتورهای سرعت در جریان دو فازی در رینولدز ۲۰ ---------- ۶۶
شکل ۴-۴۲ : بررسی پروفایل سرعت درون کانال در جریان دو فازی در رینولدز ۲۰ در دو مقطع در زمان ۲ ثانیه ---------- ۶۷
شکل ۴-۴۹ : نمودار عددی بالا رفتن قطره درون تانک در طی دو ثانیه ---------- ۷۱
شکل ۴-۵۱ : حرکت قطره روغن درون مخزن و برخورد آن با مانع ثابت ---------- ۷۳
شکل ۴-۵۲ : حرکت قطره روغن درون کانال ---------- ۷۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱-اهمیت سیالات دو فازی و کاربردهای صنعتی

بخش مهمی از مکانیک سیالات مربوط به مسائلی است که تنها یک نوع سیال در محیط بررسی قرار ندارد. برای بررسی کامل مسئله نیازمند بررسی سیالات مختلف در دامنه حل است. بسیاری از پدیده-های روزمره در زندگی به نوعی از دیدگاه علمی مسائل دو فازی یا چند فازی محسوب می‌شوند. به عنوان مثال حرکت دانه‌های باران و شکل ایجاد شده برای آن و نحوه‌ی حرکت موج روی سطح دریا و نحوه‌ی شکست آن نمونه‌ای از مثال‌های جریان دو فازی در طبیعت است. سیالات دو فازی علاوه بر آنکه به طور طبیعی در طبیعت رخ می‌دهد دارای کاربرد فراوانی در صنعت نیز هستند. از جمله مثال-هایی که در صنعت می‌توان از آن نام برد جریان درون بویلرها می‌باشد، که درون آنها مخلوطی از آب و بخار درون بویلر جریان دارد، که تشکیل جریان دو فازی از نوع گاز- مایع را می‌دهد. از موارد دیگر می‌توان به راکتورهای هسته‌ای اشاره کرد، که در این راکتورها گرمای ایجاد شده در اثر شکاف هسته-ای باعث گرم شدن سیال اطراف راکتور می‌شود، این سیال در اثر گرمای محیط و فشار بالا حالت دو فازی دارد. از موارد مهم دیگر می‌توان به جریان نفت خام درون لوله‌ها در هنگام استخراج اشاره کرد، نفت خام چون از اعماق زمین استخراج می‌شود معمولاً همراه با سیالات دیگر همچون آب از عمق زمین بیرون می‌آید که این نوع سیال هم دو فازی از نوع مایع – مایع است. در هنگام جدا سازی نفت خام نیز با سیال دو فازی مواجه می‌شویم. نمونه مثال‌ها برای سیال دو فازی در صنعت بسیار و فراوان است و همین امر مطالعه سیال دو فازی را امری مهم و تأثیر گذار می‌کند [۱]. جریان‌های دو فازی درون لوله‌ها را می‌توان به چهار دسته اصلی زیر تقسیم بندی کرد.

- جریان گاز- مایع (همانند جریان آب با بخار آب درون بویلرهای حرارتی).
- جریان مایع - مایع (جریان‌های نفت خام و آب درون لوله‌ها هنگام استخراج از چاه).
- جریان جامد- مایع (ذرات رسوب درون جریان‌های مایع مثالی از این نوع جریان است).
- جریان گاز - جامد (شبیه ذرات ریز گرد و غبار درون هوا).

بیشتر کارهای انجام شده در این زمینه برای لوله‌های افقی گاز - مایع بوده است. در مقایسه با مطالعات مایع - مایع در درک کافی جریان و مکانیزم‌های جریان‌های مایع - مایع اشکالات و موانعی وجود دارد که با توجه به کاربردهای زیاد آنها در صنایع نفت و پتروشیمی می‌تواند نمونه خوبی برای کارهای پژوهشی باشد. برای مثال مطالعاتی به منظور کاهش گرانروی ظاهری نفت خام سنگین با افزودن مایعی با گرانروی کمتر می‌تواند به عنوان یک جریان دو فازی در نظر گرفته شود [۳].

همچنین جریان مخلوط آب با نفت می‌تواند منجر به تشکیل یک امولسیون و در نتیجه رفتار جریان شناسی پیچیده‌ای شود. پدیده‌ای که در اغلب جریان‌های دو فازی آب با نفت دیده می‌شود پدیده وارونگی فازی است که در آن فاز پخش شده به فاز گسسته تبدیل می‌شود [۸].
فازی که دیواره لوله را می‌پوشاند فاز پیوسته یا فاز غالب است، و فازی که در فاز پیوسته مخلوط شده فاز پخش شده یا فاز داخلی است [۸]. در طراحی خطوط انتقالی که در آن یک سیال دو فازی جریان دارد پیش بینی نقطه وارونگی برای جریان مفید است، چون افت فشار در سیستم بین آب و نفت با نفت و آب متفاوت است.

تشکیل هیدرات در خطوط لوله‌های انتقال و میعانات گازی یکی از مشکلات جدی فرا روی کارکنان بهره برداری است. هیدرات‌ها تمایل زیادی برای متراکم شدن و چسبیدن به دیواره و همچنین خوردگی دارند [۵].

هیدرات ترکیبی برفک گونه از آب وگاز طبیعی است، که تشکیل آن افت فشار را افزایش داده و باعث انسداد و در نهایت انفجار خطوط لوله‌های انتقال خواهد شد. اصول حاکم بر جریان‌های دو فازی به دلیل بر هم کنش دو فاز به مراتب پیچیده‌تر از جریان‌های تک فاز است. در محاسبات جریان-های تک فازی هدف تعیین افت فشار در طول خطوط لوله است. در حالی که در محاسبات جریان‌های دو فازی دو هدف مهم یعنی افت فشار و ماندگی مایع مد نظر است. اصولاً پیچیدگی موجود در پیش بینی و طراحی سامانه‌های که با دو فاز سر و کار دارند ناشی از وجود همزمان دو فاز و بر هم کنش آنهاست [۵].

وجود هر کدام از فازهای گاز و مایع در جریان سیال درون لوله باعث ایجاد اصطکاک و اتلاف انرژی می‌شود، اما میزان این اتلاف متأثر از وجود یکدیگر است. به علاوه اصطکاک بین دو فاز نیز یکی از عوامل تأثیر گذار در اتلاف انرژی سیال است [۲].

۱-۲- اهمیت بررسی سیالات دو فازی

بررسی سیالات و جریان‌های دو فازی از مسائل مهم و پر اهمیت در صنعت نفت و استخراج می‌باشند. که تاکنون الگوی کامل و جامعی برای بررسی جریان‌های دو فازی حاصل نشده. پس از اتمام عملیات حفاری و کار گذاشتن لوله‌ها و تسهیلات سر چاهی عملیات بهره برداری آغاز می‌شود. جهت انتقال سیال به واحد بهره برداری از لوله و کانال استفاده می‌شود. لوله‌ها و کانال‌ها به طور کل ابزاری هستند که سیال را از خود عبور می‌دهند و یکی از ضروریات صنعت نفت می‌باشند، که برای رساندن نفت و گاز و سایر میعانات از محل استخراج تا واحدهای بهره برداری و سپس در رساندن به محل مصرف در بندرها و پالایشگاه‌ها به کار گرفته می‌شود.

کاربرد لوله‌ها و کانال‌ها در هر محل و برای هر منظور، طبق ضوابط خاصی انجام می‌گیرد و لازم است با توجه به موقعیت و شرایط محل، طراحی و استفاده گردد. این امر با در نظر گرفتن جنس و موقعیت سیالی که می‌خواهد از لوله عبور کند و همچنین شرایط محل، عملی می‌گردد.

از عوامل تأثیر گذار در طراحی خطوط لوله‌ها و کانال‌ها می‌توان به فشار، جنس سیال، رژیم جریان، دما، دبی و مسیر حرکت لوله یا کانال اشاره کرد.

همان‌طور که اشاره شد در صنعت نفت و گاز و در مراحل مختلف انتقال، سیال به صورت دو فازی می‌باشد و با توجه به طبیعت خاص سیالات دو فازی و نیز گستردگی کاربرد این نوع از سیالات و همچنین با توجه به گستردگی صنعت نفت و گاز در کشور مطالعه جریان‌های دو فازی امری مهم و لازم است [۸].

اکنون با توجه به اهمیت بررسی سیالات دو فازی به ویژه جریان دو فازی درون لوله‌ها و کانال‌ها وجود یک ابزار قوی و قدرتمند جهت بررسی جریان دو فازی لازم و حتمی است.

۱-۳- الگوهای جریان‌های دو فازی گاز- مایع

تعداد زیادی از جریان‌های فرآیندی، مخلوطی از فازها هستند. فازهای فیزیکی مواد شامل گاز، مایع و جامد است. اما مفهوم فاز در سیستم جریان چند فازی به معنای گسترده‌تری به کار می‌رود. در جریان چند فازی یک فاز قسمتی از جریان است که امکان تفکیک آن وجود دارد و نسبت به میدان پتانسیلی که در آن قرار می‌گیرد پاسخ داده و با سایر فازها برهم کنش دارد. مثلاً ذرات جامد با اندازه‌های مختلف از همان ماده را می‌توان به عنوان فازهای مختلف در نظر گرفت چون هر مجموعه ذرات با اندازه یکسان دارای عکس العمل مشابه به میدان جریان خواهند بود [۲].

یکی دیگر از پیچیدگی‌های جریان دو فازی علاوه بر تعداد بیشتر متغیرها و قوانین حاکم، الگوی جریان است. هنگامی که دو فاز درون یک خط لوله با هم در حال حرکت هستند، بسته به سرعت گاز – مایع، شیب و قطر لوله دو فاز در قالب الگوهای مختلفی به حرکت خود ادامه می‌دهند. می‌توان گفت عموماً قاعده‌ی کمینه شدن انرژی منجر به پیدایش فصل مشترک‌های مختلف می‌شود. انواع رژیم‌های جریان جدا شده در جریان دو فازی گاز و مایع با مقدار اندک به صورت زیر است [۸].

جریان چینه ای یا لایه‌ای[1] :

فاز مایع وگاز کاملاً از هم جدا دارای سرعت بیشتر و دارای فصل مشترک کاملاً صاف و هموار، دو فاز کاملاً از هم جدا هستند، در این نوع جریان‌ها سرعت فاز با لزجت کمتر بیشتر است [۱۳].

جریان موجی[2] :

اگر در جریان لایه‌ای سرعت گاز افزایش یابد و باعث ایجاد موج شود، این نوع از جریان تقریباً مشابه جریان چینه‌ای است ولی خط تماس دو فاز به صورت کاملاً صاف نیست [۱۳].

جریان لخته‌ای[3] :

---

[1]- *Laminar Flow*
[2]- *Wavy Flow*
[3]- *Slug Flow*

در جریان‌هایی که تجمع مایع زیاد باشد و لخته‌های مایع تولید شود و در برخی موارد می‌تواند باعث ایجاد لرزش و خطرهای جدی درون خطوط لوله شود [۱۳].

جریان مه آلود[1] :

در جریان‌های گازی که درون فاز گاز قطرات مایع نیز وجود دارد مثل جریان سوخت درون کاربراتور یا مخزن آرامش چند راهه خودروها [۱۳].

جریان حلقوی[2] :

جریانی که به صورت لایه‌ای تمامی دیواره‌ی لوله را تر می‌کند و گاز در بین این فضا حرکت می‌کند [۵].

یک طبقه بندی دیگر نیز برای جریان‌های دو فازی قابل اعمال است و آن جریان در لوله‌های افقی و عمودی است، که در لوله‌های عمودی شتاب گرانش تأثیر گذار است، در حالی که در لوله‌های افقی تأثیر گذار نیست، و در معادلات حاکم قابل چشم پوشی و صرفنظر کردن است [۸]. در تصاویر (۱-۱) و (۱-۲) الگوهای مختلف جریان دو فازی را در لوله‌های عمودی و افقی مشاهده می‌کنید [۸].

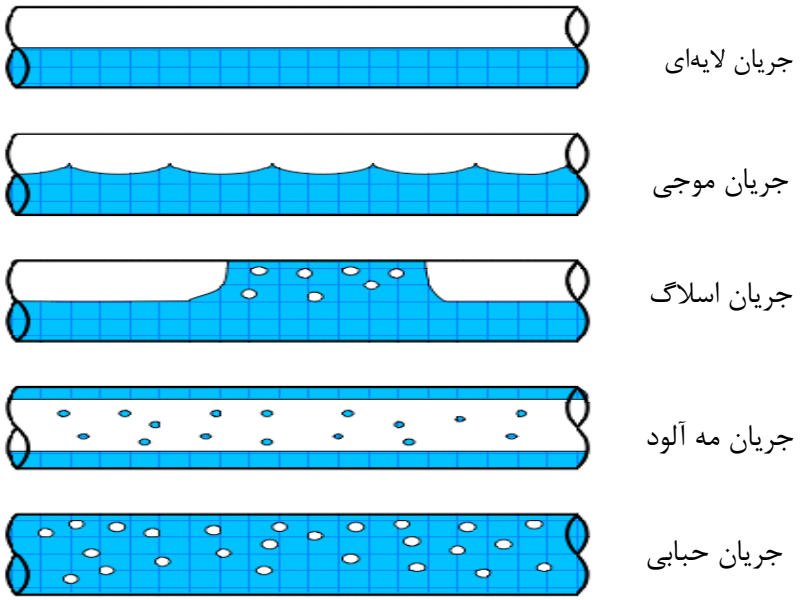
در لوله‌های عمودی نیز انتقال جریان دو فازی به صورت زیر طبقه بندی می‌شود [۱۴].

- جریان حبابی.
- جریان لخته‌ای.
- جریان انتقال یا کف آلود.
- جریان پراکنده، قطره ای یا مه آلود.

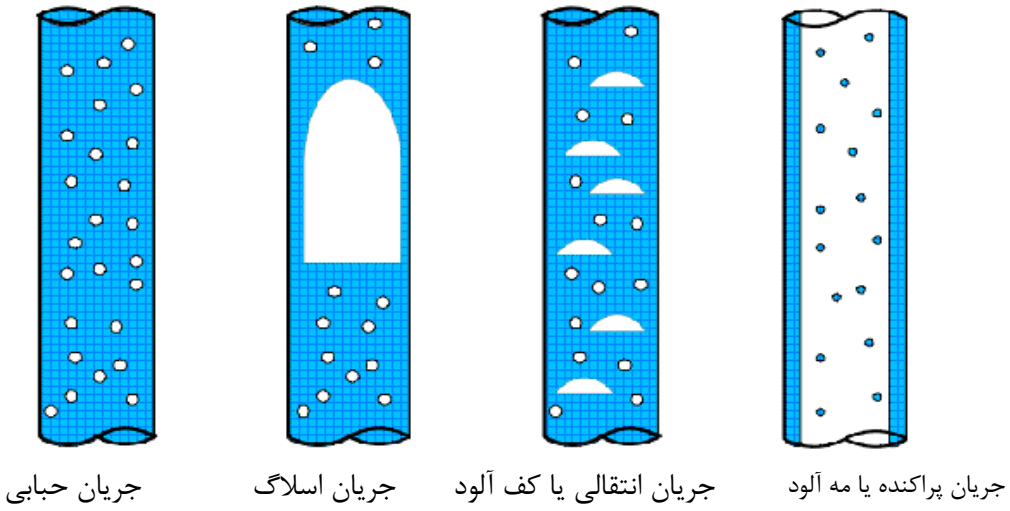
[1]- *Misty Stream*
[2]- *Annular Flow*

جدول ۲-۱ : مثال‌های جریان‌های سیستم‌های چندفازی[۱۱]

جریان حبابی	هوادهی، پمپ‌های هوا گرد، کاویتاسیون، تبخیر کننده‌ها، شناور سازی و اسکرابرها
جریان قطره ای	جذب کننده‌ها، اتمایزرها، محفظه‌های احتراق، خشک کن‌ها، تبخیر کننده‌ها، خنک کننده‌های گاز و اسکرابرها
جریان اسلاگ	حرکت حباب بزرگ در لوله‌های انتقال و مخازن
جریان سطح آزاد/ لایه‌ای	دستگاه‌های جدا کننده لجن و جوشش و میعان در راکتورهای هسته‌ای
جریان پر ذره	جدا کننده سیلیکون، جمع کننده غبار و جریان‌های گاز همراه با غبار
بستر سیال	راکتورهای بستر سیال، بسترهای سیال چرخشی
جریان دوغابی	انتقال دوغاب و فرآیندهای معدنی
ته نشینی	فرآیندهای معدنی



شکل ۲-۱ : جریان دو فازی درون لوله‌های افقی[۸]



شکل ۲-۲ : جریان دو فازی درون لوله‌های عمودی [۸]

۱-۴- خواص و پدیده‌های جریان دو فازی

متداول‌ترین جریان‌های چند فازی جریانات دو فازی است؛ جریان دو فازی (مایع- مایع) با حضور ممنتوم سطح مشترک دو سیال، نیروی کشش سطحی و پدیده‌ی وارونگی فازی پیچیده شده است.

مساحت سطح مقطع لوله به دو بخش تقسیم می‌شود. یکی مساحت اشغال شده توسط فاز یک و دیگری مساحت اشغال شده توسط فاز دوم. ماندگی یک فاز برابر است با مساحت آن فاز به مساحت کل سطح مقطع، همچنین جریان حجمی به صورت مجموع شدت جریان حجمی هر دو فاز تعیین

می‌شود [۱].

چند تعریف از جریان دو فازی

سرعت ظاهری فاز

سرعت جریان یکی از فازهای چند جزیی با فرض اینکه فاز به تنهایی تمام لوله را اشغال کند [۱].

برش آب

شدت جریان حجمی آب نسبت به جریان حجمی کل مایع که هر دو به فشار و دمای استاندارد تبدیل شده‌اند [۱].

پس ماند

پس ماندگی یا عقب ماندگی حجم قسمتی از لوله است، که توسط یک سیال اشغال شده به حجم کل همان قسمت از لوله که شامل حجم مایع و گاز است. پس ماند در اثر اختلاف سرعت بین دو فاز به وجود می‌آید [۱].

لغزش

در جریان دو فازی، عقب ماندگی یا کندی سرعت نسبت به فاز گاز سنجیده می‌شود. در صورتی که در تمام نقاط سطح مقطع لوله، فازهای گاز و مایع دارای سرعت یکسانی بوده و هیچ کندی و عقب ماندگی بین فازها نباشد، گفته می‌شود جریان دو فازی بدون لغزش است [۱].

وارونگی فازی

در جریان‌های دو فازی افزایش غلظت فاز پخش شده بالاتر از یک نقطه بحرانی باعث می‌شود که این فاز، فاز پیوسته و فاز دیگر فاز پخش شده یا فاز گسسته نامیده می‌شود. به این پدیده وارونگی فازی گفته می‌شود. درصد فاز پخش شده که بالاتر از آن این فاز به فاز پیوسته تبدیل شود نقطه وارونگی فازی گفته می‌شود [۸].

وارونگی فازی در جریان‌های نفت و آب (مایع – مایع) از اهمیت بسزایی برخوردار است. چون وقتی یک فاز پیوسته به فاز پخش شده تبدیل می‌شود تغییرات زیادی در افت فشار مشاهده می‌شود؛ در طراحی خطوط لوله توانایی در پیش بینی نقطه وارونگی فازی برای سیستم بسیار مهم است. چون افت فشار و رفتار خورندگی در بین دو فاز (آب و نفت یا نفت و آب) بسیار متفاوت است [۱۴]. بنابراین پیش بینی نقطه وارونگی فازی بر طراحی خطوط لوله بسیار تأثیر گذار است، بیشتر گرانروی مؤثر مخلوط همیشه در نقطه وارونگی فازی رخ می‌دهد [۸].

کشش سطحی

کشش سطحی یک خاصیّت فیزیکی از سیال است؛ در جریان‌های دو فازی و چند فازی در سطح مشترک دو سیال خاصیّت کشش سطحی بیشتر خود را نشان می‌دهد [۱].

کشش سطحی در نتیجه نیروهای جاذبه بین مولکول‌ها در سیال به وجود می‌آید. بـه عنـوان مثـال یک حباب هوا در آب را در نظر بگیرید. در داخل حباب، نیروی خالص روی مولکول در اثر همسـایه‌اش برابر صفر است. در سطح، نیروی خالص به صورت شعاعی به سمت داخل است و اثر ترکیبی مؤلفه‌های شعاعی نیرو در سراسر سطح کره، سطح را منقبض کرده و به ایـن ترتیـب افـزایش فشـار روی قسـمت مقعر سطح را موجب می‌شود. کشش سطحی نیرویی است که فقط بر روی سطح عمل می‌کند و بـرای تعادل در این قبیل موقعیت‌ها لازم است. این نیرو جهت موازنه نیروی جاذبه بین مولکولی شـعاعی بـه سمت داخل با نیروی گرادیان فشار به سمت خارج در سرتاسر سطح حباب عمل می‌کند. در نواحی که دو سیال جدا شده‌اند، اما یکی از آنها به شکل حباب کروی نیست، کشـش سـطحی بـا حـداقل کـردن انرژی آزاد از طریق کاهش سطح فصل مشترک روی مدل اعمال می‌شود [۱۱].

کشش سطحی اصطلاحی است که وقتی سطح مایع در تماس با یک گاز یا بخـار قـرار دارد بـه کـار می‌رود (کشش سطحی در سطح مشترک دو فاز به وجود می آید). خاصیّت کشـش سـطحی باعـث بـه وجود آمدن حالت الاستیک مانندی برای سطح سیال می‌گردد (در حقیقت کشش سطحی باعـث مـی-شود لایه بیرونی سیال شبیه یک صفحه کشسان عمل کند به این خاصیّت در سیالات کشـش سـطحی و در جامدات انرژی سطحی می‌گویند) علّت این خاصیّت نیروی بین مولکول‌های درون مـایع اسـت. در درون مایع مولکول‌ها تمایل دارند که به یکدیگر نیروی دافعه وارد کنند ولی در سطح سیال مولکول‌هـا تمایل به پرت شدن به بیرون از سطح مایع را دارند که این عامل باعث به وجود آمـدن نیـروی کشـش سطحی می‌شود [۱۱]. در نتیجه این عمل اجسام سبک مثل پر یا سوزن برخلاف بیشتر بـودن چگـالی (بیشتر از چگالی آب) بر روی سطح آب شناور می‌مانند (سطح سیال زیر جسم پایین می‌رود ولـی پـاره نمی‌شود). در بحث نیروهای درونی سیال این نیرو از طرف مولکول‌ها به مولکول‌های مقابـل وارد مـی-شود، این نیروها باعث می‌شوند که سیال بیشتر خواهان جمع شدن به سمت داخل باشد و چون سـیال تراکم ناپذیر است، در مقابل تراکم ناپذیری از خود مقاومت نشان می‌دهد. این حالت تا جایی ادامه پیدا می‌کند که نیروی بین دو سیال با هم در حالت تعادل قرار می‌گیرند به علّت وجود ایـن نیروهـا (کـه از نوع نیروهای بین مولکولی هستند) روی سطح نیروی کشش سطحی به وجود می‌آید.

در دمای صفر مطلق مولکول‌ها در اثر جاذبه واندروالسی به هم نزدیک می‌شـوند و از طرفـی انـرژی جنبشی سعی در دور کردن مولکول‌ها از هم دارد فاصله بین مولکول‌ها تعیین کننده فاز ماده مـی‌باشـد (اگر فاصله زیاد باشد گاز اگر کم باشد جامد و اگر فاصله متوسط باشد مایع را داریم). افزایش دما باعث می‌شود انرژی جنبشی افزایش پیدا کند بنابراین در یک مایع به مولکول‌هایی که روی سطح قرار دارنـد با نیروی کمتری به درون کشیده می‌شوند (در نقطه سه گانه بین فازهـا تعـادل برقـرار اسـت بنـابراین انرژی جنبشی و نیروی جاذبه در تعادل با یکدیگر قرار دارند بنابراین به مولکول‌های سطح هیچ نیرویی وارد نمی‌شود و به همین خاطر سطح مشخصی بین مایع و بخار وجود ندارد).

مقدار عددی نیروی کشش سطحی با به دست آوردن کار انجام شـده و قـانون اول ترمودینامیـک و صفر قرار دادن مقدار آن (به علت در تعادل بودن) مقدار عـددی کشـش سـطحی قابـل حصـول اسـت [۱۱].

سرعت مخلوط و برش آب