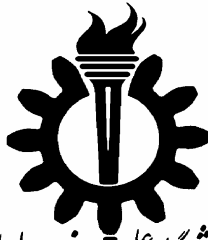


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل جداسازی ذرات جامد از سیال بسیار لزج
در کانالهای انشعابی

مهران جلیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک، گرایش تبدیل انرژی

استاد راهنما :

دکتر نوروز محمد نوری

بهمن ماه ۱۳۸۲

تقدیم به

خانواده عزیزم

به خصوص پدر و مادر مهربانم

چکیده:

در این تحقیق، جریان دو فاز جامد - مایع به روش لاگرانژی در سیال بسیار لزج به منظور ردگیری ذرات در کانالهای انشعابی شبیه سازی شده است. کانالهای انشعابی به عنوان جدا کننده‌ی فاز برای تغلیظ یا ترقیق کردن جریان دو فاز در صنایع غذایی، صنایع نفت و گاز، نیروگاهها، صنایع تولید هیدروکربن و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. نکته مهم در استفاده از کانالهای انشعابی بصورت یک وسیله جداکننده این است که توزیع دلخواهی از ذرات قبل از انشعاب بوجود آید تا بتوان آنها را هدایت و جدا نمود.

ذرات جامد سنگین‌تر از مایع در سیالات بسیار لزج تا حدود زیادی خط جریان را دنبال می‌کنند و به آسانی از خط جریان منحرف نمی‌شوند. در این تحقیق مدلی پیشنهاد شده است که بتوان ذرات را از خط جریان جدا نموده و به نواحی خاصی هدایت کرد. از عوامل مؤثر بر نقل و مکان ذرات در داخل جریان سیال، اندازه و شکل ذرات می‌باشد که در این پروژه ذرات به شکلهای کروی و سوزنی با اندازه‌های مختلف در حالت‌های تک ذره و سوسپانسیون رقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بعلاوه رقیق بودن سوسپانسیون مورد نظر، اثرات برهم کنش ذره - ذره و ذره - سیال لحاظ نشده است.

از زحمات تمامی دوستان و عزیزانی که در تدوین این مجموعه مرا یاری نموده‌اند و بویژه از استاد ارجمند جناب آقای دکتر نوری که علاوه بر راهنمایی‌های علمی، معلم اخلاق اینجانب نیز بودند، صمیمانه سپاسگزارم.

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	مقدمه
۱	۱-۱ جریانهای چند فاز
۵	۱-۱-۱ روشهای پیش بینی رفتار جریانهای چند فاز
۸	۱-۲ اتصالات T شکل
۱۵	فصل دوم: جریان لزج در کانال T شکل
۱۶	۲-۱ مقدمه
۱۸	۲-۲ جریان سیال در کانال T شکل
۱۹	۲-۲-۱ شرایط مرزی سرعت
۲۰	۲-۲-۱-۱ پروفیل سرعت در حالت دو بعدی
۲۱	۲-۲-۱-۲ پروفیل سرعت در حالت سه بعدی
۲۷	فصل سوم: حرکت ذرات کروی در کانال T شکل
۲۸	۳-۱ مقدمه
۲۹	۳-۲ حرکت ذره کروی در داخل سیال
۳۰	۳-۲-۱ نیروهای هیدرودینامیک اعمالی بر ذره کروی
۳۱	۳-۲-۱-۱ اثر دیواره
۳۲	۳-۲-۲ دینامیک حرکت ذره کروی
۳۳	۳-۲-۲-۱ دینامیک ذره کروی در حالت دو بعدی

۳۳	۳-۲-۲-۲ دینامیک ذره کروی در حالت سه بعدی
۳۶	۳-۳ نتایج شبیه سازی تک ذره کروی
۳۶	۳-۳-۱ تک ذره کروی در کانال T شکل دو بعدی
۳۸	۳-۳-۲ تک ذره کروی در کانال T شکل سه بعدی
۴۰	۳-۴ سوسپانسیون ذرات کروی
۴۰	۳-۴-۱ ذرات کروی در کانال T شکل دو بعدی
۴۳	۳-۴-۲ ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی
۵۰	فصل چهارم: حرکت ذرات سوزنی در کانال T شکل
۵۱	۴-۱ مقدمه
۵۱	۴-۲ حرکت ذره‌ی سوزنی در سیال
۵۱	۴-۲-۱ دینامیک حاکم بر ذره‌ی سوزنی در جریان آزاد
۵۴	۴-۲-۲ حرکت ذره‌ی سوزنی در جریان پوآیسول
۵۶	۴-۲-۲-۱ معادله دیفرانسیل حرکت ذره‌ی سوزنی در جریان پوآیسول
۵۸	۴-۳ نتایج شبیه سازی تک ذره‌ی سوزنی
۵۸	۴-۳-۱ سقوط ذره‌ی سوزنی در سیال ساکن
۶۰	۴-۳-۲ تک ذره‌ی سوزنی در کانال T شکل
۶۲	۴-۴ نتایج شبیه سازی سوسپانسیون ذرات سوزنی
۶۸	فصل پنجم: نتیجه و جمع بندی
۶۹	۵-۱ مقدمه
۷۰	۵-۲ الگوی جریان پیشنهادی برای توزیع غیر یکنواخت ذرات
۷۱	۵-۳ نتایج شبیه سازی

۷۱	۵-۳-۱ جریان سیال لزج در الگوی جریان پیشنهادی
۷۱	۵-۳-۲ ذرات کروی در الگوی جریان پیشنهادی
۷۴	۵-۳-۲ ذرات سوزنی در الگوی جریان پیشنهادی
۷۷	۵-۴ ارزیابی تأثیر اندازه ذرات در جداسازی
۷۷	۵-۴-۱ ذرات کروی با اندازه‌های متفاوت
۸۰	۵-۴-۲ ذرات سوزنی با اندازه‌های متفاوت
۸۳	۵-۵ ارزیابی تأثیر زاویه‌ی ذره سوزنی در جداسازی
۸۶	۵-۶ جمع بندی
۸۷	۵-۷ پیشنهادات
۸۹	فهرست مراجع
۹۲	پیوست
۹۳	پیوست الف: جریان استوکس
۹۸	پیوست ب: ماکرو نویسی در نرم افزار ANSYS

صفحه	عنوان
۲	شکل (۱-۱) رژیم‌های متفاوتی از جریان دو فاز الف) جریان دو فاز گذرا ب) جریان دو فاز تفکیک شده ج) جریان دو فاز پخش شده
۴	شکل (۱-۲) رژیم‌های جریان دو فاز پخش شده بصورت تابعی از کسر حجمی ذره
۹	شکل (۱-۳) کانال T شکل الف) کانال T شکل تلفیقی ب) کانال T شکل انشعابی
۱۷	شکل (۲-۱) ذره کروی در جریان پوآیسول
۱۸	شکل (۲-۲) مسیر حرکت ذره در جریان پوآیسول در حالت شناوری و حالت با اختلاف چگالی برای ذرات چرخان و ذرات بی چرخش الف) مسیر ذره در عدد رینولدز ۵/۴ در نیمه پایینی کانال ب) مسیر ذره در عدد رینولدز ۱۶/۲ در نیمه پایینی کانال
۱۹	شکل (۲-۳) هندسه کانال انشعابی در حالت‌های دو بعدی و سه بعدی
۲۰	شکل (۲-۴) هندسه کانال دو بعدی
۲۲	شکل (۲-۵) سطح مقطع ورودی کانال در حالت سه بعدی
۲۳	شکل (۲-۶) مش بندی مدل کانال انشعابی الف) دو بعدی ب) سه بعدی
۲۳	شکل (۲-۷) کانتور سرعت الف) دو بعدی ب) سه بعدی
۲۴	شکل (۲-۸) کانتور فشار الف) دو بعدی ب) سه بعدی
۲۴	شکل (۲-۹) جریان لزج در مدل کانال انشعابی الف) خطوط جریان دو بعدی ب) بردارهای سرعت سه بعدی
۲۵	شکل (۲-۱۰) کانتور سرعت الف) فشار انشعاب مستقیم $P_{ao} = 0(Pa)$ و فشار خروجی جانبی $P_{bo} = 1000(Pa)$ ب) $P_{ao} = 1000(Pa)$ و $P_{bo} = 0(Pa)$
۲۶	شکل (۲-۱۱) کانتور خطوط جریان الف) $P_{ao} = 0(Pa)$ و $P_{bo} = 1000(Pa)$ ب) $P_{ao} = 1000(Pa)$ و $P_{bo} = 0(Pa)$
۲۶	شکل (۲-۱۲) کانتور فشار الف) $P_{ao} = 0(Pa)$ و $P_{bo} = 1000(Pa)$ ب) $P_{ao} = 1000(Pa)$ و $P_{bo} = 0(Pa)$
۲۹	شکل (۳-۱) محاسبه ورتیسیتی و شتاب سیال بکمک ۴ نقطه اطراف ذره
۳۱	شکل (۳-۲) حرکت ذره کروی در مجاورت دیواره الف) حرکت ذره موازی دیواره ب) حرکت ذره عمود به سمت دیواره
۳۵	شکل (۳-۳) مسیر کیفی ذره کروی با اعمال نیروی درگ و گرانش در جریان یکنواخت آزاد

- شکل (۳-۴) الف) مسیر کمی ذره کروی با اعمال نیروی درگ و گرانش در جریان یکنواخت آزاد ب) تغییرات خطوط جریان در مسیر حرکت ذره کروی
- ۳۶
- شکل (۳-۵) الف) مسیر کیفی تک ذره کروی در کانال T شکل دو بعدی ب) مسیر حرکت ذره در کنار دیواره (بزرگنمایی از شکل (۳-۵) الف))
- ۳۷
- شکل (۳-۶) الف) تغییرات خط جریان در مسیر حرکت ذره کروی ب) مسیر کمی ذره کروی در کانال دو بعدی
- ۳۷
- شکل (۳-۷) الف) مسیر کیفی تک ذره کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) مسیر حرکت ذره در کنار دیواره (بزرگنمایی از شکل (۳-۷) الف))
- ۳۸
- شکل (۳-۸) الف) مسیر کمی تک ذره کروی در کانال T شکل سه بعدی الف) تغییرات Y بر حسب X ب) تغییرات Z بر حسب X
- ۳۸
- شکل (۳-۹) الف) مسیر کیفی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل دو بعدی ب) مسیر حرکت ذرات در کنار دیواره (بزرگنمایی از شکل (۳-۹) الف))
- ۴۰
- شکل (۳-۱۰) الف) تغییرات کمی خطوط جریان در مسیر هر ذره کروی در کانال T شکل دو بعدی
- ۴۱
- شکل (۳-۱۱) الف) مسیر کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل دو بعدی
- ۴۲
- شکل (۳-۱۲) الف) مسیر کیفی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) مسیر حرکت ذرات در کنار دیواره (بزرگنمایی از شکل (۳-۱۲) الف))
- ۴۳
- شکل (۳-۱۳) الف) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) تغییرات Y بر حسب X در عمق اولیه
- ۴۴
- $(Z=0/01) (m)$
- شکل (۳-۱۴) الف) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) تغییرات Z بر حسب X در عمق اولیه
- ۴۵
- $(Z=0/01) (m)$
- شکل (۳-۱۵) الف) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) تغییرات Y بر حسب X در عمق اولیه
- ۴۶
- $(Z=0/03) (m)$
- شکل (۳-۱۶) الف) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) تغییرات Z بر حسب X در عمق اولیه
- ۴۷
- $(Z=0/03) (m)$
- شکل (۳-۱۷) الف) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی ب) تغییرات Y بر حسب X در عمق اولیه
- ۴۸
- $(Z=0/05) (m)$

- شکل (۳-۱۸) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات کروی در کانال T شکل سه بعدی (تغییرات Z بر حسب X در عمق اولیه $(Z=0/05 (m))$)
- ۴۹
- شکل (۴-۱) حرکت ذره سوزنی شکل با راستای عمود بر جریان و با راستای در جهت جریان
- ۵۲
- شکل (۴-۲) نیروهای وارده بر ذره سوزنی با زاویه α در جریان یکنواخت آزاد
- ۵۴
- شکل (۴-۳) تقسیم ذره سوزنی به سه ذره سوزنی کوچکتر
- ۵۵
- شکل (۴-۴) سقوط آزاد ذره سوزنی با زاویه اولیه β در سیال ساکن
- ۵۸
- شکل (۴-۵) الف) مسیر سقوط آزاد ذره سوزنی در سیال ساکن ب) تغییرات خط جریان سیال در مسیر ذره
- ۵۹
- شکل (۴-۶) تغییرات سرعت ذره بر حسب X
- ۵۹
- شکل (۴-۷) الف) مسیر حرکت کیفی تک ذره سوزنی در کانال T شکل ب) تغییرات خط جریان در طول مسیر حرکت ذره سوزنی
- ۶۰
- شکل (۴-۸) الف) مسیر حرکت کمی تک ذره سوزنی در کانال T شکل ب) تغییرات توان ذره در طول مسیر حرکت ذره سوزنی
- ۶۱
- شکل (۴-۹) الف) تغییرات زاویه ذره در طول مسیر حرکت ذره سوزنی در کانال T شکل ب) تغییرات سرعت چرخشی ذره در طول مسیر حرکت ذره سوزنی
- ۶۱
- شکل (۴-۱۰) الف) مسیر حرکت کیفی سوسپانسیون ذرات سوزنی در کانال T ب) سوسپانسیون ذرات سوزنی به هنگام توزیع در انشعابها (بزرگنمایی از شکل (۴-۱۰) الف))
- ۶۲
- شکل (۴-۱۱) تغییرات خط جریان هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در کانال T شکل
- ۶۳
- شکل (۴-۱۲) مسیر حرکت کمی سوسپانسیون ذرات سوزنی در کانال T شکل
- ۶۴
- شکل (۴-۱۳) تغییرات زاویه هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در کانال T شکل
- ۶۵
- شکل (۴-۱۴) تغییرات توان هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در کانال T شکل
- ۶۶
- شکل (۴-۱۵) تغییرات سرعت چرخشی هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در کانال T شکل
- ۶۷
- شکل (۵-۱) هندسه مدل پیشنهادی برای جدا کردن ذرات از خط جریان خود
- ۷۰
- شکل (۵-۲) توزیع سرعت در الگوی جریان پیشنهادی
- ۷۱
- شکل (۵-۳) الف) مسیر کیفی سوسپانسیون ذرات کروی در مدل پیشنهادی ب) بزرگنمایی از شکل (۵-۳) الف)
- ۷۱

- ۷۲ شکل (۵-۴) تغییرات خط جریان هر ذره کروی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در الگوی جریان پیشنهادی
- ۷۳ شکل (۵-۵) مسیر حرکت کمی هر ذره کروی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در الگوی جریان پیشنهادی
- ۷۴ شکل (۵-۶) الف) مسیر کیفی سوسپانسیون ذرات سوزنی در الگوی جریان پیشنهادی ب) بزرگنمایی از شکل (۵-۶) الف)
- ۷۵ شکل (۵-۷) تغییرات خط جریان هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در الگوی جریان پیشنهادی
- ۷۶ شکل (۵-۸) مسیر حرکت کمی هر ذره سوزنی از سوسپانسیون در طول مسیر آن در الگوی جریان پیشنهادی
- شکل (۵-۹) الف) مسیر حرکت کیفی ذرات کروی با قطرهای متفاوت در الگوی جریان پیشنهادی ب) بزرگنمایی از شکل (۵-۶) الف)
- ۷۷
- ۷۸ شکل (۵-۱۰) تغییرات خط جریان ذرات کروی با قطرهای متفاوت در الگوی جریان پیشنهادی
- ۷۹ شکل (۵-۱۱) مسیر حرکت کمی ذرات کروی با قطرهای متفاوت در الگوی جریان پیشنهادی
- شکل (۵-۱۲) الف) مسیر حرکت کیفی ذرات سوزنی با اندازه‌های متفاوت در مدل پیشنهادی ب) بزرگنمایی از شکل (۵-۱۲) الف)
- ۸۰
- ۸۱ شکل (۵-۱۳) تغییرات خط جریان ذرات سوزنی با اندازه‌های متفاوت در مدل پیشنهادی
- ۸۲ شکل (۵-۱۴) مسیر حرکت کمی ذرات سوزنی با اندازه‌های متفاوت در الگوی جریان پیشنهادی
- ۸۳ شکل (۵-۱۵) مسیر حرکت کیفی ذرات سوزنی با زوایای اولیه متفاوت در مدل پیشنهادی
- ۸۴ شکل (۵-۱۶) تغییرات خط جریان ذرات سوزنی با زوایای اولیه متفاوت در مدل پیشنهادی
- ۸۵ شکل (۵-۱۷) مسیر حرکت کمی ذرات سوزنی با زوایای اولیه متفاوت در مدل پیشنهادی

فهرست علائم

علامت	مفهوم
C_D	ضریب پسا
C_L	ضریب برآ
D/Dt	مشتق مادی
g	شتاب جاذبه
Re	عدد رینولدز
u_x	سرعت در جهت x
u_y	سرعت در جهت y
u_z	سرعت در جهت z
μ_f	ضریب لزجت دینامیکی
α	زاویه محور طولی ذره سوزنی
ρ	چگالی
$\dot{\gamma}_w$	تنش برشی روی دیواره
ω_f	ورتیسیتهی جریان
F_D	نیروی درگ
F_{LS}	نیروی لیفت
F_A	نیروی اینرسی (Added mass)
F_P	نیروی فشاری
ρ_f	دانسیته سیال
ρ_p	دانسیته ذره

m_p	جرم ذره
α_p	کسر حجمی فاز پخش شده
D_m	قطر هیدرولیکی کانال
U_f	سرعت سیال
U_p	سرعت ذره
d_p	قطر ذره
V_p	حجم ذره
U_{rel}	سرعت نسبی ذره و سیال
ω_p	سرعت زاویه‌ای ذره
I_p	ممان اینرسی ذره
H	نصف عرض کانال

فصل اول:

مقدمه

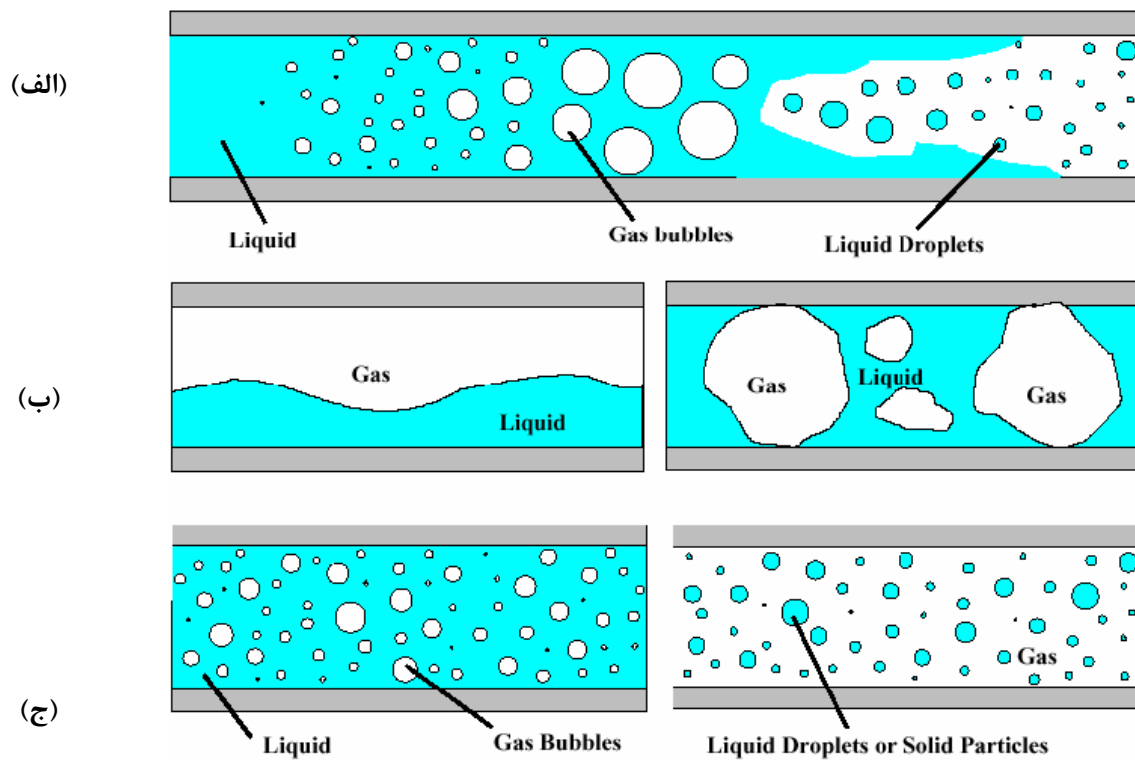
مقدمه:

۱-۱ جریانهای چند فاز

جریانهای چند فاز ممکن است به شکلهای مختلفی در عملیات صنعتی ظاهر شوند (شکل ۱-۱). بطور مثال، جریانهای گذرا با یک گذار از مایع خالص تا یک جریان بخار همانند آنچه در جریانهای حرارت خارجی دیده می‌شود یا جریانهای تفکیک شده (مانند جریانهای چینه بندی شده^۱، جریانهای slug و یا جریانهای فیلم نازک) و یا جریانهای دو فاز پخش شده که یک فاز به شکل ذرات، قطرات و یا حبابهایی در یک فاز پیوسته‌ی در حال حرکت (مانند گاز یا مایع) وجود دارد.

چنین جریانهای دو فاز پخش شده در پروسه‌های صنعتی و تکنیکی متعدد، مانند تکنولوژی ذره، مهندسی شیمی و بیوتکنولوژی دیده می‌شوند. جریانهای دو فاز پخش شده را می‌توان در جملاتی از فازهای مختلف که در جدول (۱-۱) خلاصه شده‌اند به‌مراه برخی از مهمترین پروسه‌های صنعتی طبقه‌بندی نمود. بعلاوه پروسه‌های متعددی وجود دارند که شاید مشتمل بر بیش از دو فاز باشند (یعنی جریانهای چند فاز) مانند اسپری شوینده که قطرات و ذرات جامد در یک جریان گاز پخش می‌شوند که هدف، جمع‌آوری ذرات توسط قطرات می‌باشد.

¹ stratified flows



شکل (۱-۱) رژیم‌های متفاوتی از جریان دو فاز الف) جریان دو فاز گذرا ب) جریان دو فاز تفکیک شده ج) جریان دو فاز پخش شده

جدول (۱-۱) اختصاری سیستم‌های جریان دو فاز و پروسه‌های مهم فنی و صنعتی

کاربردهای صنعتی و فنی	فاز پخش شده پیوسته
انتقال بادی، جداسازی ذره در سیکلونها و فیلترها، بسترهای مرطوب	جریانهای گاز - جامد
انتقال آبی، جداسازی مایع - جامد، پخش ذره در مخازن متلاطم	جریانهای مایع - جامد
شستشو با اسپری، خشک کردن با اسپری، خنک کردن و رنگ کردن با اسپری	جریانهای گاز - قطره
مخلوط غیر قابل اختلاط مایعات، بیرون کشیدن مایع از مایع	جریانهای مایع - قطره
ستونهای حباب، دمیدن هوا در آب	جریانهای مایع - گاز

برای مشخصه‌سازی جریانهای دو فاز پخش شده، شاخص‌های مختلفی بکار برده می‌شوند که در ادامه به شرح مختصر آنها پرداخته می‌شود.

کسر حجمی فاز پخش شده، حجم اشغال شده توسط ذرات در یک حجم واحد می‌باشد. بنابراین این خاصیت چنین تعریف می‌شود:

$$\alpha_p = \frac{\sum_i N_i V_{pi}}{V} \quad (1-1)$$

که N_i تعداد ذرات در کسر اندازه‌ی i می‌باشد که دارای حجم ذره‌ی $V_{pi} = \frac{\pi}{6} D_{pi}^3$ می‌باشند. D_{pi} قطر ذره، برابر قطر معادل یک کره هم حجم با ذره می‌باشد. چون مجموع کسر حجمی فاز پخش شده و فاز پیوسته واحد می‌باشد پس کسر حجمی فاز پیوسته برابر است با:

$$\alpha_f = (1 - \alpha_p) \quad (1-2)$$

دانسیتته‌ی توده یا غلظت فاز پخش شده، برابر جرم ذرات در واحد حجم می‌باشد.

$$\rho_p^b = C_p = \alpha_p \rho_p \quad (1-3)$$

در نتیجه دانسیته‌ی توده فاز پیوسته برابر است با:

$$\rho_F^b = (1 - \alpha_p) \rho_F \quad (1-4)$$

مجموع دانسیته‌های توده‌ی هر دو فاز، دانسیته مخلوط نامیده می‌شود.

$$\rho_m = \rho_F^b + \rho_p^b = (1 - \alpha_p) \rho_F + \alpha_p \rho_p \quad (1-5)$$

اغلب غلظت ذره توسط تعداد ذرات در واحد حجم بیان می‌گردد. برای مثال در تکنولوژی اتاق تمیز:

$$n_p = \frac{N_p}{V} \quad (1-6)$$

در جریانهای گاز-جامد از اصطلاح بار جرمی¹، مکرراً استفاده می‌شود که بصورت شار جرمی فاز پخش شده به شار جرمی فاز سیال تعریف می‌گردد.

$$\eta = \frac{\alpha_p \rho_p U_p}{(1 - \alpha_p) \rho_F U_F} \quad (1-7)$$

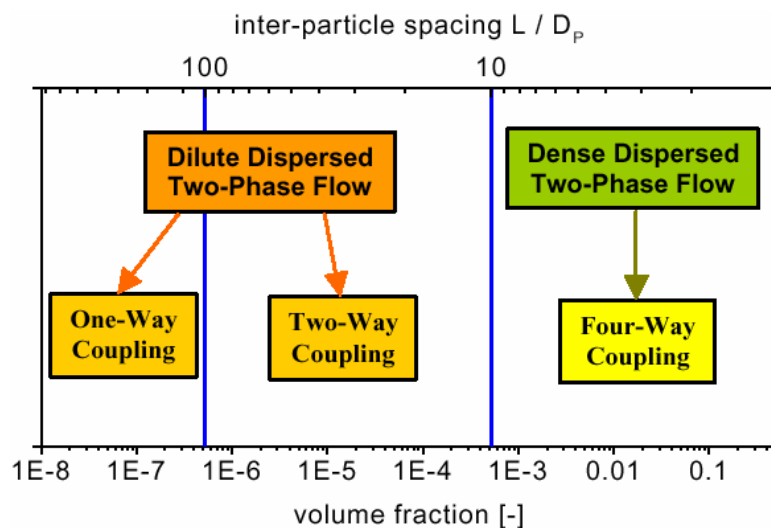
نزدیکی ذرات در یک سیستم جریان دو فاز از فضای بین ذرات تخمین زده می‌شود، اگرچه این تنها برای

¹ Mass loading

آرایش‌های منظم ذرات کاربرد دارد. برای یک آرایش مکعبی، فضای بین ذرات یعنی فاصله بین مراکز ذرات از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$\frac{L}{D_p} = \left(\frac{\pi}{6\alpha_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1-8)$$

برای یک کسر حجمی ۱٪ این فضا معادل ۳/۷۴ برابر قطر است و برای کسر حجمی ۱۰٪ معادل ۱/۷۴ برابر قطر می‌باشد. بنابراین برای کسرهای حجمی بالا، ذرات نمی‌توانند بصورت منفرد حرکت کنند چون برهم کنش‌های دینامیک سیالات قابل توجه می‌گردند. در بسیاری از سیستم‌های عملی ذره-سیال کسر حجمی ذرات بسیار پایین است. برای مثال یک جریان گاز-جامد را در نظر بگیرید (دانسیته ذره $\rho_p = 2500 (kg/m^3)$ و دانسیته گاز $\rho_F = 1.18 (kg/m^3)$ با یک بار جرمی برابر ۱ و فرض کنید که هیچ لغزش بین فازها نباشد آنگاه کسر حجمی تقریباً ۰/۰۵٪ می‌باشد (یعنی $\alpha_p = 5 \times 10^{-4}$) این نتایج در یک فضای بین ذره‌ای تقریباً ۱۰ برابر قطر ذرات حاصل می‌گردد. بنابراین تحت چنین شرایطی می‌توان از برهم کنش دینامیک سیالات صرف‌نظر نمود.



شکل (۱-۲) رژیم‌های جریان دو فاز پخش شده بصورت تابعی از کسر حجمی ذره

طبقه‌بندی از جریانهای دو فاز پخش شده با توجه به اهمیت مکانیزمهای برهم کنش توسط Elghobashi (1994) تهیه شد که این طبقه‌بندی، عموماً جریانهای دو فاز غلیظ و رقیق را از هم جدا می‌کند. یک سیستم

دو فاز برای کسرهای حجمی کوچکتر از $\alpha_p = 10^{-3}$ رقیق به حساب می‌آید. (یعنی $\frac{L}{D_p} \approx 8$). در این رژیم جریان تاثیر فاز ذره روی جریان سیال برای $\alpha_p < 10^{-6}$ (یعنی $\frac{L}{D_p} \approx 80$) قابل صرفنظر کردن می‌باشد. برای کسرهای حجمی بزرگتر، تاثیر ذرات روی جریان سیال باید محسوب گردد که به کوپله کردن دو راهه¹ می‌انجامد.

در رژیم‌های جریان غلیظ (برای $\alpha_p > 10^{-3}$) علاوه بر این برهم کنش‌های بین ذره‌ای نیز قابل توجه می‌گردند (یعنی تصادم‌ها و برهم کنش‌های دینامیک سیالاتی بین ذرات) که این رژیم جریان توسط یک روش مشهور به کوپله کردن چهارراهه مشخصه سازی می‌گردد.

۱-۱-۱ روشهای پیش بینی رفتار جریانهای چند فاز:

در ده سال گذشته دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بطور افزایشی توسط صنعت شیمی برای آنالیز پروسه‌ها و بهینه سازی بکار برده شده است. اغلب این پروسه‌ها شامل یک یا چند فاز در هندسه‌های پیچیده هستند که ممکن است با انتقال جرم و حرارت و واکنش‌های شیمیایی همراه باشند. محاسبات عددی جریانهای چند فاز در سطح‌های مختلفی بلحاظ پیچیدگی، انجام می‌گردند.

۱- با افزایش قدرت محاسباتی در سالهای اخیر، شبیه سازی عددی مستقیم جریانهای دارای ذره با به حساب آوردن ابعاد محدودی از ذرات و جریان حول ذرات ممکن شده است. بطور مثال می‌توان از روش حل وابسته به زمان معادلات ناویر-استوکس سه بعدی روی یک شبکه که ذرات را تحلیل می‌کند، نام برد. اساساً دو روش برای تحلیل شکل ذره با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب در سطح آن بکار برده می‌شوند. روش اول، شبکه بی‌ساختار سازگار^۲ به منظور دنبال کردن حرکت ذره و تحلیل شکل ذره می‌باشد [Hu (1996)]. در روش دوم میدان جریان روی شبکه منظم محاسبه می‌گردد و یک روش ذره‌ی ردیاب (ذره نمونه) برای شبیه سازی ذره‌ی صلب بکار برده می‌شود. کوپله شدن با سیال در یک جمله‌ی نیروی حجمی در معادله‌ی ناویر-استوکس ظاهر می‌شود [Schwarzer. (1998) و Glowinski. (1999)].

¹ two-way coupling

² adaptive unstructured grid