دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مدلسازی عددی جریان توربولانت گاز- جامد در مختصات سه بعدی

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

عباس داداشی

استاد راهنما

دکتر مجید صفار اول

دکتر زهره منصوری

استاد مشاور

دکتر حسن بصیرت تبریزی

دانشکده مهندسی مکانیک

۱۳۸۷

شماره :
تاریخ :

فرم اطلاعات پایان‌نامه

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : عباس داداشی **دانشجوروزانه**

شماره دانشجویی : ۸۵۱۲۶۰۷۳ دانشکده : مهندسی مکانیک **رشته تحصیلی : تبدیل انرژی**

نام و نام خانوادگی استاد راهنما / استادان راهنما: دکتر مجید صفار اول دکتر زهره منصوری

عنوان به فارسی : مدلسازی عددی جریان توربولانت گاز- جامد در مختصات سه بعدی

عنوان به انگلیسی : Three dimensional simulation of gas- solid turbulent flow

نوع پروژه : کارشناسی ارشد **کاربردی** ☐ **بنیادی** ☐ **توسعه‌ای** ☐ **نظری**

تاریخ شروع : ۸۶/۷/۱ **تاریخ خاتمه :** ۸۷/۱۱/۱۴ **تعداد واحد** ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار : معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

واژه های کلیدی به فارسی : جریان گاز- جامد، شبیه سازی سه بعدی، انتقال حرارت

واژه های کلیدی به انگلیسی : Heat transfer, Three dimensional simulation, Gas- solid flow

---

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما / استادان راهنما : دکتر مجید صفار اول دکتر زهره منصوری

دانشجو : عباس داداشی امضا استاد راهنما : تاریخ :

نسخه ۱) معاونت پژوهشی

نسخه ۲) کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تصفیه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

اعلان منحصر بودن پایان نامه

بدین وسیله اعلان می گردد که مطالب مندرج در این پایان نامه با عنوان "مدلسازی عددی جریان توربولانت گاز- جامد در مختصات سه بعدی" صرفًا برای ارائه به دانشکدهٔ مکانیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران) تهیه و تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرکی توسط اینجانب و فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی به هیچ مؤسسه آموزشی و پژوهشی داخلی و خارجی ارائه نشده و بعدًا نیز (عینًا و به صورت حاضر) به هیچ مؤسسه ای برای کسب مدرک تحصیلی مشابه و یا بالاتر تحویل نخواهد شد.

عباس داداشی

امضاء

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از استادان ارجمند جناب آقای دکتر مجید صفار اول، سرکار خانم دکتر زهره منصوری و جناب آقای دکتر حسن بصیرت تبریزی برای راهنمایی های ارزنده و بی شائبه شان در طول انجام این پایان نامه کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از دوست گرامی آقای مهندس فرید الدین بهزاد که در طول انجام این پروژه مرا یاری نموده اند، قدردانی می نمایم.

"تقدیم به پدر و مادر مهربانم"

چکیده

جریانهای آشفته گاز همراه با ذرات جامد در بسیاری از فرآیند های صنعتی و زیست محیطی نظیر صنایع معدنی، شیمیایی، تبدیل انرژی و کنترل آلودگی هوا کاربرد دارد. در این پایان‌نامه برای پیش بینی خواص جریان آشفته گاز- جامد رو به بالا در یک لوله عمودی با شار ثابت و یک لوله افقی، مدلی سه بعدی به روش چهارطرفه اویلرین- لاگرانژین ارائه شده است. فاز گاز با معادلات متوسط زمانی رینولدز مومنتوم و انرژی و الگوی جریان آشفته $k_\theta - \tau_\theta, k - \tau$ و فاز ذرات به صورت لاگرانژین و برخورد غیر الاستیک با روش مستقیم در نظر گرفته شده است. معادلات فاز گاز با الگوریتم سیمپل در مختصات سه بعدی استوانه‌ای روی یک شبکه جابجا شده حل شده‌اند. نتایج محاسباتی لوله عمودی در مورد سرعت گاز و ذره و انرژی توربولانس گاز برای ذرات μm ۲۴۳ و ۵۰۰ و نتایج حرارتی برای ذراتی با قطر μm ۲۰۰ با نتایج تجربی موجود مقایسه شده‌است و سپس خواص مهم هر دو فاز از قبیل پروفیل‌های سرعت، دما، شدت انرژی توربولانس هیدرودینامیکی و حرارتی گاز، شدت اغتشاشات هیدرودینامیکی و حرارتی ذره و توزیع غلظت شعاعی در نسبت بارها و رینولدزهای مختلف و در دو وضعیت بدون برخورد و با برخورد مقایسه شده اند. نتایج نشان می‌دهد که برخورد ذرات تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مسیر حرکت ذرات می-گذارد. در نسبت بارهای نسبتا پایین توزیع شعاعی سرعت و دمای ذرات و سرعت گاز در اثر برخورد یکنواخت‌تر می‌شود. برخورد ذرات در نسبت بارهای کم سبب کاهش عدد ناسلت می شود. ولی بطور کلی اثر برخورد ذرات روی میدان هیدرودینامیکی بسیار بیشتر از میدان حرارتی است.

نتایج محاسباتی لوله افقی در مورد سرعت گاز و ذره و انرژی توربولانس گاز برای ذرات μm ۲۰۰ با نتایج تجربی موجود مقایسه شده است و سپس کمیتهای مهم هر دو فاز از قبیل پروفیل‌های سرعت، شدت انرژی توربولانس هیدرودینامیکی گاز، توزیع غلظت ذرات در نسبت بارها و رینولدزهای مختلف مقایسه شده اند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش نسبت بار و کاهش سرعت گاز ورودی، عدم تقارن نمودارهای کمیت های جریان را در مقطع لوله تشدید می کند و غلظت ذرات را در نزدیکی دیواره پایینی لوله افزایش می دهد.

فهرست مطالب

موضوع	صفحه
صفحه نام خدا	الف
عنوان	ب
اعلان منحصر بودن پایان نامه	ت
سپاس‌گزاری	ث
صفحه اهداء و تقدیم	ج
چکیده	ح
فهرست مطالب	خ
فهرست علائم	ر
فهرست جداول	س
فهرست شکل ها	ش
فصل اول- مقدمه	**۱**
۱-۱- پیشگفتار	۲
۱-۲ - تاریخچه	۳
۱-۳ بستر سیالی شده	۱۲
۱-۳- ۱- طبقه بندی ذرات سیالی شده با هوا	۱۳
۱-۳- ۲- رژیمهای مختلف جریان در بسترهای سیالی شده	۱۴
۱-۴- انتقال مومنتوم بین دو فاز در لوله عمودی	۱۶
۱-۵- سیستم های انتقال بادی افقی	۲۴
۱-۶- روش های انتقال حرارت در جریان گاز- جامد	۲۶
۱-۶-۱- هدایت درون ذره جامد	۲۷
۱-۶-۲- انتقال حرارت بین ذرات در اثر برخورد	۲۷
۱-۶-۳- انتقال حرارت هدایتی از لایه گاز مجاور بین دو ذره	۲۸
۱-۶-۴- انتقال حرارت جابجایی بین گاز و ذره	۲۹

۱-۶-۵- انتقال حرارت به روش تشعشع بین ذره و دیوار ۲۹
۱-۷- انرژی جنبشی جریان مغشوش گاز- جامد ۳۰
۱-۸- احتمال برخورد ذرات ۳۲
۱-۹- تعریف اهداف مسئله ۳۴
فصل دوم - شبیه سازی **۳۶**
۲-۱- شبیه سازی فاز گاز ۳۷
۲-۱-۱- تحلیل حرارتی و هیدرو دینامیکی سیال در رایزر عمودی ۳۷
۲-۱-۲- تحلیل حرارتی و هیدرو دینامیکی سیال در لوله افقی ۴۲
۲-۱-۳- تولید میدان اغتشاشات ۴۳
۲-۱-۴- ترمهای منبع ۴۵
۲-۲- شبیه سازی فاز ذره ۴۹
۲-۲-۱- شبیه سازی روابط هیدرودینامیکی و حرارتی حاکم برذرات ۴۹
۲-۲-۲- شبیه سازی برخورد ذرات ۵۰
۲-۲-۲- ۱- شبیه سازی مستقیم ۵۱
۲-۲-۲- ۲- برخورد ذرات با دیوار ۵۳
۲-۳- تعریف چند واژه کاربردی ۵۵
فصل سوم- تحلیل عددی **۵۸**
۳-۱- معادلات گسسته شده میدان جریان ۶۱
۳-۲- اعمال شرایط مرزی ۷۰
۳-۲-۱- شرط مرزی ورودی ۷۰
۳-۲-۲- شرط مرزی خروجی ۷۰
۳-۲-۳- شرط مرزی دیوار ۷۲
۳-۲-۴- شرط مرزی تقارن ۷۳
فصل چهارم – ارزیابی نتایج **۷۶**
۴-۱- مقایسه نتایج هیدرو دینامیکی جریان گاز جامد در رایزر عمودی با داده‌های تجربی ۷۷
۴-۲- مقایسه نتایج حرارتی جریان گاز جامد در رایزر عمودی با داده‌های تجربی ۸۱
۴-۳- مقایسه نتایج هیدرو دینامیکی جریان گاز جامد در لوله افقی با داده‌های تجربی ۸۴

فصل پنجم - بررسی نتایج **۸۹**
۵-۱- تاثیر نسبت بار بر کمیت های جریان در رایزر عمودی ۹۰
۵-۲- تاثیر نسبت بار بر کمیت های جریان در لوله افقی ۱۰۳
۵-۳- تاثیر سرعت ورودی گاز بر کمیت های جریان در لوله افقی ۱۰۷
۵-۴- تاثیر نسبت بار بر کمیت های حرارتی در لوله افقی ۱۱۱
۵-۵- مقایسه نتایج شبیه سازی های دو و سه بعدی در رایزر عمودی ۱۱۵
فصل ششم - جمع بندی **۱۱۹**
فصل هفتم - پیشنهاد ها **۱۲۲**
فصل هشتم - مراجع **۱۲۴**

فهرست علائم

علائم لاتین

A	مساحت سطح مقطع لوله	Pr_t	عدد پرنتل توربولانسی
A_p	مساحت ذره	q	فلاکس حرارتی
c_p	ظرفیت ویژه حرارتی	r	مختصات شعاعی
c_d	ضریب درگ	Re	عدد رینولدز
D	قطر لوله	Re_T	عدد رینولدز توربولانسی
d	قطر ذره	$Re_{t\theta}$	عدد رینولدز توربولانس حرارتی
e	ضریب ارتجاعی	Re_p	عدد رینولدز ذره
E	ضریب الاستیک	S	ترم منبع بخاطر حضور ذره
f	ضریب اصطکاک	T	دمای متوسط
f_μ, f_λ	توابع میرا کننده	T_{gg}	دمای گاز
G	بردار سرعت نسبی	t'	نوسانات دما
g	شتاب گرانش	t	زمان
h_p	ضریب انتقال حرارت	t_e	زمان درگیری (برخورد)
h_{pp}	ضریب انتقال حرارت بین ذرات	t_p	زمان برگشت (برخورد)
h_{pg}	ضریب انتقال حرارت بین گاز و ذره	t_o	زمان برگشت الاستیک
J	نیروی ضربه	u	سرعت محوری
K	ظرفیت حرارتی	u'	نوسانات سرعت
k	انرژی جنبشی توربولانسی	$u*$	سرعت اصطکاکی
k_θ	واریانس دما	U	سرعت متوسط محوری گاز
K_g	ظرفیت هدایت حرارتی گاز	v	بردار سرعت ذرات
m	جرم ذره	v_c	سرعت نسبی ذرات در حین برخورد
Nu	عدد ناسلت	V_{Yd}	سرعت ضربه مینیمم حین برخورد الاستیک
P	فشار	V	سرعت متوسط شعاعی گاز
Pr	عدد پرنتل	W	سرعت متوسط مماسی گاز

y	فاصله از دیوار
y^+	فاصله بی بعد از دیوار
Y_d	تنش تسلیم
z	مختصات محوری
X, Y, Z	سیستم مختصات

علائم یونانی

α	ضریب پخش حرارتی
α_t	ضریب پخش ادی حرارتی
β_1, β_2	زوایای تماس
ε	نرخ اتلاف انرژی جنبشی توربولانسی
ε_θ	نرخ اتلاف انرژی حرارتی توربولانسی
ε_{st}	کرنش
ϕ	غلظت حجمی ذرات
μ	ویسکوزیته
ν	ویسکوزیته سینماتیک
ν_t	ویسکوزیته ادی
θ	مختصات زاویه ای
ρ	دانسیته
σ_s	نسبت پواسون
σ_{st}	تنش
τ	مقیاس زمانی توربولانس
τ_θ	مقیاس زمانی توربولانس حرارتی
τ_p	زمان پاسخ دینامیکی ذرات

زیرنویس ها

c	تماس
f	سیال
g	گاز
k	شدت هیدرو دینامیک
n	مولفه نرمال
o	خط مرکزی لوله
p	ذره
pp	ذره - ذره
pg	ذره - گاز
t	مولفه مماسی
u	سرعت
W	دیوار
θ	توربولانس حرارتی
$'$	مولفه نوسانی
$-$	مقدار متوسط
$+$	متغیر بی بعد
0	قبل از برخورد
1	بعد از برخورد

فهرست جداول

شماره صفحه

جدول (۲-۱): ترمهای منبع مورد استفاده در تحلیل عددی ۴۸-۴۹

جدول (۳-۱): مقادیر Φ و ترمهای چشمه برای حل حجم محدود ۶۲-۶۴

جدول (۳-۲): ناسلت محاسبه شده با شبکه‌های مختلف ۷۵

فهرست اشکال

شماره صفحه

شکل (۱-۱): طبقه بندی گلدارت برای ذرات سیالی شده با هوا در شرایط محیط ۱۳

شکل (۱-۲): رژیمهای مختلف جریان گاز- جامد حاصل از افزایش سرعت ۱۴

شکل (۱-۳): دیاگرام عمومی رژیمهای مختلف جریان گاز- جامد. ۱۶

شکل (۱-۴): تعلیق و جابجایی یک ذره ۱۶

شکل (۱-۵): ضریب درگ به عنوان تابعی از عدد رینولدز ذرات ۱۹

شکل (۱-۶): نیروهای اصلی روی یک ذره ۲۰

شکل (۱-۷): رژیمهای مختلف انتقال بادی ۲۵

شکل ۱-۸- رژیمهای مختلف انتقال بادی در دبی جرمی ثابت (نمودار زنز ۱۹۹۹) ۲۶

شکل (۱-۹): شماتیک برخورد دو ذره و لایه گاز بین آنها ۲۹

شکل (۱-۱۰): دلایل اصلی وجود نوسانات ذره در یک جریان ۳۲

شکل (۱-۱۱): رژیم ها ی جریان گاز جامد برحسب نسبت حجمی فاز جامد ۳۳

شکل (۲-۱): یک رایزر عمودی با شار حرارتی ثابت ۳۷

شکل (۲-۲): سطح مقطع لوله ۳۸

شکل (۲-۳): تولید گردابه پشت ذرات ۴۶

شکل (۲-۴): برخورد ذرات و مؤلفه‌های مماس و نرمال ۵۳

شکل (۲-۵): شماتیک برخورد ذره و دیوار ۵۵

شکل (۲-۶): شماتیک بازه محاسباتی ۵۷

شکل (۳-۱): شبکه محاسباتی ۶۴

شکل (۳-۲): شبکه جابجا شده و حجم‌های کنترل سرعت و متغیرهای اسکالر در صفحات $r-z$ ۶۵

شکل (۳-۳): شبکه جابجا شده و حجم‌های کنترل سرعت و متغیرهای اسکالر در صفحات $\theta-z$ ۶۶

شکل (۳-۴): روش تولید شبکه غیر یکنواخت ۶۶

شکل (۳-۵): حجم کنترل سرعت محوری در مرز ورودی ۷۱

شکل (۳-۶): حجم کنترل سرعت محوری در مرز دیوار ۷۲

شکل (۳-۷): دو شرایط مرزی برای ذره‌ای که از مرز خارج می شود ۷۴

شکل (۴-۱): توزیع سرعت هوا و مقایسه با نتایج سوجی ۷۸

شکل (۴-۲): توزیع سرعت ذره و مقایسه با نتایج سوجی ۷۹

شکل (۴-۳): شدت توربولانس هوا و مقایسه با نتایج سوجی ۸۱

شکل (۴-۴): ضریب انتقال حرارت جریان و مقایسه با نتایج دپو و فاربر ۸۲

شکل (۴-۵): تغییر عدد ناسلت در نسبت بارهای مختلف و مقایسه با نتایج دپو و فاربر ۸۳

شکل (۴-۶): توزیع دمای هوای خالص و هوا همراه با ذرات در نسبت بار ۱/۲۸ ۸۴

شکل (۴-۷): توزیع سرعت هوای خالص و هوا همراه با ذرات در نسبت بار ۰/۴ ۸۵

شکل (۴-۸): توزیع سرعت ذرات در نسبت بار ۰/۴ ۸۶

شکل (۴-۹): توزیع شدت توربولانس هوای خالص و هوا همراه با ذرات در نسبت بار ۰/۴ ۸۷

شکل (۴-۱۰): توزیع غلظت ذرات در نسبت بار ۰/۴ ۸۸

شکل (۵-۱): الف- توزیع شعاعی غلظت حجمی ذرات نسبت به غلظت متوسط برای نسبت بارهای مختلف با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد، ب- توزیع زاویه ای غلظت نرمالیزه ذرات ($r = D/4$) ۹۱

شکل (۵-۲): الف- توزیع شعاعی سرعت سیال با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای نسبت بارهای مختلف، ب- توزیع زاویه ای سرعت سیال ($r = D/4$) ۹۳

شکل (۵-۳): توزیع شعاعی شدت توربولانس با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای نسبت بارهای مختلف ۹۴

شکل (۵-۴): الف- توزیع شعاعی سرعت ذرات با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف، ب- توزیع زاویه ای سرعت ذره ($r = D/4$) ۹۵

شکل (۵-۵): توزیع شعاعی شدت توربولانس محوری ذرات با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف ۹۶

شکل (۵-۶): توزیع شعاعی شدت توربولانس شعاعی ذرات با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف ۹۷

شکل (۵-۷): الف- توزیع شعاعی دمای سیال با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف، ب- توزیع زاویه ای دمای سیال ($r = D/4$) ۹۹

شکل (۵-۸): الف-توزیع شعاعی دمای ذره با در نظر گرفتن برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف، ب- توزیع زاویه ای دمای ذره ($r = D/4$) ۱۰۰

شکل (۵-۹): توزیع شعاعی شدت توربولانس حرارتی سیال با برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف ۱۰۱

شکل (۵-۱۰): تغییرات عدد ناسلت برحسب نسبت بار ۱۰۲

شکل (۵-۱۱): توزیع شعاعی شدت توربولانس حرارتی ذره با برخورد و بدون برخورد برای دو نسبت بار مختلف ۱۰۳

شکل (۵-۱۲): تاثیر نسبت بار بر توزیع غلظت نرمالیزه ذرات ۱۰۴

شکل (۵-۱۳): تاثیر نسبت بار بر توزیع سرعت هوا ۱۰۵

شکل (۵-۱۴): تاثیر نسبت بار بر توزیع سرعت ذرات ۱۰۶

شکل (۵-۱۵): تاثیر نسبت بار بر توزیع شدت توربولانس هوا ۱۰۷

شکل (۵-۱۶): اثر سرعت ورودی گاز بر توزیع غلظت ذرات ۱۰۸

شکل (۵-۱۷): اثر سرعت ورودی گاز بر توزیع سرعت هوای خالص و هوا همراه با ذرات ۱۰۹

شکل (۵-۱۸): اثر سرعت ورودی گاز بر توزیع سرعت ذرات ۱۱۰

شکل (۵-۱۹): اثر سرعت ورودی گاز بر توزیع شدت توربولانس هوا ۱۱۱

شکل (۵-۲۰): الف- توزیع شعاعی دمای بی بعد سیال، ب- توزیع زاویه ای دمای سیال ۱۱۲

شکل (۵-۲۱): توزیع شعاعی دمای ذره برای دو نسبت بار مختلف (Z=0.19, 0.4) ۱۱۳

شکل (۵-۲۲): تغییرات عدد ناسلت برحسب نسبت بار ۱۱۴

شکل (۵-۲۳): توزیع زاویه ای عدد ناسلت جریان برای دو نسبت بار مختلف ($r = D/4$) ۱۱۴

شکل (۵-۲۴): توزیع شعاعی سرعت سیال در نسبت بارهای مختلف و مقایسه با داده های تجربی (سوجی ۱۹۸۴) ۱۱۵

شکل (۵-۲۵): توزیع شعاعی سرعت ذره در نسبت بارهای مختلف و مقایسه با داده های تجربی (سوجی ۱۹۸۴) ۱۱۶

شکل (۵-۲۶): توزیع شعاعی شدت توربولانس گاز در نسبت بارهای مختلف و مقایسه با داده های تجربی (سوجی ۱۹۸۴) ۱۱۷

شکل (۵-۲۷): توزیع محوری ضریب انتقال حرارت و مقایسه با داده های تجربی (دپو و فاربر ۱۹۶۳) ۱۱۸

فصل اول - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

شناخت بنیادی رفتار پیچیده جریانهای آشفته گاز همراه با ذرات جامد در بسیاری از فرایندهای صنعتی و زیست محیطی دارای اهمیت می باشد. از کاربردهای این نوع جریان دو فازی می توان به صنایع معدنی، شیمیایی، تبدیل انرژی و کنترل آلودگی هوا اشاره کرد. بطور خلاصه جریانهای چند فازی[۱]، جریانهای هستند که در آنها بیش از یک فاز در جریان حضور داشته باشد. گاهی اوقات فازهای مختلف، حالتهای متفاوتی از یک سیال هستند، بعنوان مثال می توان جریان دو فازی آب و بخار را در اواپراتورها نام برد. گاهی هم فازهای مختلف، به کلی از مواد گوناگون هستند، ذرات گرد و غبار در هوا و یا در جریان آب را می توان به عنوان نمونه نام برد.

یکی از مهمترین کاربردهای صنعتی جریان دو فازی گاز- جامد، استفاده‌ٔ آنها در بسترهای سیالی شده می باشد، که بطور گسترده در فرایندهای زیر از آن استفاده می شود:

شکست کاتالیتیک[۲]: شکستن مولکولهای سنگین هیدروکربن های نفت خام با استفاده سیلیکا و آلومینیوم، به عنوان کاتالیزور برای تسریع در واکنش.

صنایع آلومینیوم: تهیه آلومینیوم با خلوص بالا از طریق کلسیناسیون[۳] تری هیدرات آلومینیوم.

خشک کردن[۴] ذرات جامد : خشک کردن مواد در صنایع دارویی، شیمیایی و غذایی.

در اتاق های احتراق نیروگاهها: سوزاندن زغال با استفاده از یک بستر سیالی شده.

مدتی است که برای بالا بردن راندمان مبدلهای حرارتی، همراه با سیال عامل از ذرات ریز استفاده می شود. این ذرات، به اختلاط بیشتر کمک نموده و از طرفی با افزایش سطح انتقال حرارت، بازده‌ٔ مبدل را افزایش داده و موجب کاهش ابعاد آن می شود.

بارش باران و برف، طوفان شن و ته نشینی ذرات آب گل آلود رودخانه ها همگی مثالهایی از جریان چند فازی در طبیعت می باشند. حرکت ذرات شن ، قطرات آب و دانه های برف در باد تابعی از سرعت باد و دانسیته ذره است که می تواند باعث سقوط و صعود ذرات شود. درنتیجه، برای طراحی مناسب سازه های مقاوم در برابر طوفان شن، پرداختن به جریان های چند فازی به ویژه جریان دو فاز گاز- جامد لازم است و همچنین، شسته شدن کف رودخانه ها یا ته نشینی ذرات در بستر رودخانه ها و مجاری، مثالهای دیگری از جریان های دو فاز (مایع- جامد) می باشند.

---

[1] . Multiphase flow
[2] . Catalytic-Cracking
[3] . Calcination
[4] . Drying

جریان دو فازی، به عنوان ساده ترین نوع جریان چند فازی، براساس حالت فازهای تشکیل دهنده به سه دسته تقسیم می شوند: جریان گاز- مایع، جریان گاز- جامد و جریان مایع- جامد. امروزه همگام با پیشرفت سریع تکنولوژی، مطالعه و شناخت پایه ای جریانهای دو فازی گاز- جامد ضروری به نظر می آید و باید در این راستا مطالعات گسترده تری انجام شود.

رفتار جریان دو فازی گاز- جامد تابع متغیرهای گوناگونی می باشد، این متغیرها شامل خواص فیزیکی سیال همانند چگالی، لزجت و رطوبت نسبی و همچنین خواص فیزیکی ذره نظیر چگالی، اندازه، شکل ذره و زبری سطح و در نهایت متغیرهای مجموعه همانند جهت جریان، شکل هندسی مجموعه، سرعت، دما و فشار کارکرد و نیروهای اعمال شده به سیال و ذرات می‌باشند. لذا گستردگی متغیرهای مذکور، سبب پیچیدگی رفتار جریان دو فازی گاز- جامد می شود.

انتقال حرارت در جریانهای گاز- جامد در غالب سه شکل کلی انجام می شود. یکی بین مخلوط گاز- جامد و سطوح، دیگری بین گاز و ذره و در آخر نوع سوم بین ذره و ذره که در حین برخورد ذرات اتفاق می افتد. هم اکنون این موضوع کاملا" روشن است که افزودن ذرات به جریان گاز درون لوله هم می‌تواند باعث افزایش و هم کاهش ضریب انتقال حرارت دیوار لوله شود. فاربر[1] و دپو[2] (۱۹۶۳) نشان دادند که مقدار عدد ناسلت بستر گاز– جامد با اضافه کردن ذرات، تا یک نسبت بار مشخص کاهش یافته و سپس با افزایش نسبت بار، افزایش یافته است. زیرا در نسبت بارهای پایین، ضخامت زیر لایهٔ لزج افزایش می یابد که کاهش عدد ناسلت را بدنبال دارد. در حالیکه در نسبت بارهای بالا، افزایش ظرفیت حرارتی مخلوط سبب افزایش عدد ناسلت می شود. این پدیده توسط شبیه سازی های عددی نیز تایید شده است (منصوری و همکاران ۲۰۰۲ و شاگراس[3] ۲۰۰۵).

۱-۲- تاریخچه

در شناخت و تحلیل جریان گاز– جامد تعدادی از کمیتهای فیزیکی از قبیل غلظت ذرات، سرعت و انرژی جنبشی گاز و ذره، توزیع دما و عدد ناسلت بستر دارای اهمیت خاصی می باشد که در این میان توزیع غلظت ذرات در مقطع لوله بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نتایج گوناگونی برای توزیع غلظت ذرات در مقطع لوله های افقی و عمودی گزارش شده اند که حتی برخی از آنها رفتار متفاوتی را نشان داده اند.

[1] Farbar
[2] Depew
[3] Chagras