بسم الله الرحمن الرحيم

٩٣٨١١

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
(تبدیل انرژی)

موضوع:

تحلیل عددی ناپایداری کلوین-هلمهلتز در جریان دوفازی افقی لایه‌ای با درنظرگرفتن اثر لزجت

۱۳۸۷ /۲/ ۲۱

نگارش:
فرزاد نجفی گوگرچین

استاد راهنما:
دکتر محمدرضا انصاری

بهمن ماه ۱۳۸۶

۹۴۸۱۱

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای فرزاد نجفی گوگرچین پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تحلیل عددی ناپایداری کلوین- هلمهلتز برای جریان دو فازی لایه ای با در نظر گرفتن اثر لزجت** در تاریخ ۱۳۸٦/۱۱/۲۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر قاسم حیدری نژاد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی اشجعی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	

۱۳۸۷ /۲/ ۲۱

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در فرزاد بحقی رشته مهندسی صنایع است که در سال ۱۳۸۶ - در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمدرضا انصاری مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر ــــ و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ــــ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب فرزاد بحقی دانشجوی رشته مهندسی صنایع کارشناسی ارشد مقطع تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی فرزاد بحقی

تاریخ و امضاء:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقدیم به

پدر و مادر مهربان و دلسوزم که همواره مشوق اصلی من در امر تحصیل بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

تهیه و تدوین این پایان‌نامه، حاصل بیش از ۱۵ ماه پژوهش و بحث و بررسی با استاد بزرگوار، دکتر محمدرضا انصاری، بوده است و نگارنده، تشکر و قدردانی از این استاد ارجمند را وظیفه خود می‌داند.

همچنین، نگارنده از هم‌کاری و هم‌فکری دکتر رحیمیان، دکتر وحید شکری و مهندس محسن قاسمی نهایت تشکر را دارد.

چکیده

در این پایان‌نامه، برای اولین بار، اثر درنظرگرفتن لزجت دو سیال گاز و مایع در پیش‌بینی شروع ناپایداری هیدرودینامیکی در فصل مشترک دو سیال، با استفاده از مدل خوش‌رفتار[1] دوسیالی دوفشاری، بررسی و نتایج آن با تحلیل غیرلزج و حل تحلیلی موجود، مقایسه شده است؛ ضمناً با درنظرگرفتن لزجت‌های مختلف برای فاز مایع، اثر لزجت بر ایجاد ناپایداری، موردمطالعه قرار گرفته است و نشان داده شده که لزجت اثر ناپایدارکننده دارد؛ به این معنی که با بالارفتن میزان لزجت، سرعت حد ناپایداری پایین‌تر می‌آید. برای بررسی مسأله، جریان دوفازی افقی لایه‌ای در داخل کانالی با مقطع مستطیلی درنظرگرفته شده است. مدل مورد استفاده برای تحلیل، مدل خوش‌رفتار دوسیالی دوفشاری است. برای حل عددی معادلات حاکم، از متد عددی دونرسل[2] استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل، نشان‌دهنده پایداری عددی بالا در مدل دوسیالی دوفشاری، در مقایسه با نتایج محققان دیگر است که دلیل آن، حقیقی بودن ریشه‌های مشخصه این مدل می‌باشد که منجر به یک سیستم معادله هایپربولیک[3] می‌شود و همچنین نشان داده شده که درنظرگرفتن اثر لزجت در معادلات حاکم، رفتار فصل مشترک بین دو سیال را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ناپایداری فصل مشترکی، جریان دوفازی لایه‌ای، مدل خوش‌رفتار، شبکه جابه‌جاشده[4]، حل عددی

---

[1] Well-posed
[2] Donor cell
[3] Hyperbolic
[4] Staggered

فهرست مطالب صفحه

فهرست علائم و نشانه‌ها د
فهرست اشکال و نمودارها ه

فصل ۱. مقدمه ۲
۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. متغیرهای مورد استفاده در جریان‌های دوفازی [وطنی و مخاطب، ۱۳۸۰] ۴
۱-۲-۱. لغزش ۴
۱-۲-۲. پس‌ماند ۵
۱-۲-۳. سرعت ظاهری گاز و مایع ۶
۱-۲-۴. سرعت واقعی ۷
۱-۲-۵. سرعت جریان دوفازی ۷
۱-۲-۶. سرعت لغزش ۸
۱-۲-۷. کسر فضای خالی ۸
۱-۳. انواع جریان‌های دوفازی ۱۰
۱-۴. الگوهای جریان دوفازی مایع-گاز [وطنی و مخاطب، ۱۳۸۰] ۱۰
۱-۴-۱. الگوهای جریان در لوله‌های افقی ۱۱
۱-۴-۲. الگوهای جریان در لوله‌های قائم ۱۵
۱-۵. ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۱۷
۱-۵-۱. تعریف و اهمیت ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۱۷
۱-۵-۲. روابط موجود برای تعیین حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۱۸
۱-۶. خوش‌رفتاری مسأله ۲۱
فصل ۲. مدل‌های جریان دوفازی [شکری، ۱۳۸۶] ۲۴
۲-۱. مدل‌های ریاضی جریان دوفازی ۲۴
۲-۱-۱. مدل HEM ۲۴
۲-۱-۲. مدل DFM ۲۵
۲-۱-۳. مدل TFM ۲۶
۲-۲. مقایسه بین مدل‌ها ۲۷
۲-۳. فرمولاسیون مدل‌های دوسیالی (TFM) ۲۸
۲-۳-۱. مدل PFM-2 ۲۸
۲-۳-۲. مدل SPM-4 ۳۰

۲-۳-۳. مدل TPM-5 ..... ۳۱
فصل ۳. مروری بر مطالعات انجام‌شده ۳٤
۳-۱. تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی جریان دوفازی لایه‌ای ۳٤
۳-۱-۱. تحقیقات انجام‌شده توسط هن‌کاکس و همکاران او (۱۹۷۹) ۳٤
۳-۱-۲. تحقیقات انجام‌شده توسط واتانیب و هیرانو (۱۹۸۲) ۳٥
۳-۱-۳. تحقیقات انجام‌شده توسط عیسی و کمف (۲۰۰۳) ۳٦
۳-۱-۴. تحقیقات انجام‌شده توسط رامشا و تراپ (۱۹۷۸) ۳۸
۳-۱-۵. تحقیقات انجام‌شده توسط رنسم و هیکس(۱۹۸۴) ۳۹
۳-۲. تحقیقات انجام‌شده در زمینه ناپایداری کلوین-هلمهلتز ٤۰
۳-۳. مروری بر تحقیقات انجام شده در ایران ٤۳
فصل ۴. تعریف مسأله و تحلیل ٤۷
۴-۱. تعریف فیزیک مسأله ٤۷
۴-۲. مدل مورد استفاده برای تحلیل مسأله ٤۷
۴-۳. آنالیز مشخصه‌های مدل دوفشاری [رنسم و هیکس، ۱۹۸۴] ٥۰
۴-۴. متد حل عددی ٥٥
۴-۴-۱. شیوه گسسته‌سازی معادلات ٥٥
۴-۴-۲. تعیین اندازه گام زمانی ٥٦
۴-۵. گسسته‌سازی معادلات ٥۷
۴-۵-۱. گسسته‌سازی معادله تغییرات کسرحجمی مایع ٥۷
۴-۵-۲. گسسته‌سازی معادله پیوستگی فاز مایع ٥۹
۴-۵-۳. گسسته‌سازی معادله پیوستگی فاز گاز ٦۰
۴-۵-۴. گسسته‌سازی معادله ممنتوم فاز مایع ٦۰
۴-۵-۵. گسسته‌سازی معادله ممنتوم فاز گاز ٦٤
۴-۶. شرایط اولیه و مرزی مسأله ٦٥
۴-۶-۱. شرایط اولیه ٦٥
۴-۶-۲. شرط مرزی حاکم بر مسأله ٦٦
۴-۷. اعمال ترم لزجت بر معادلات مدل دوسیالی دوفشاری ٦٦
۴-۸. منفصل‌کردن ترم‌های تنش برشی ۷۰
۴-۹. کد کامپیوتری نوشته شده برای حل ۷۰
فصل ۵. نتایج، بحث و جمع‌بندی ۷۳
۵-۱. شرایط اولیه و خواص دو فاز و جریان برای استخراج نتایج ۷۳
۵-۲. رشد موج ۷٤

۵-۳. مطالعه جریان بدون اعمال اغتشاش اولیه ۷۵
۵-۴. عدم وابستگی جواب‌ها به تعداد نقاط شبکه و پایداری عددی روش ۷۶
۵-۵. تعیین حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز بدون لحاظ اثر لزجت ۷۸
۵-۶. حرکت و رشد موج ۸۰
۵-۷. نمودار رشد موج و کسرحجمی مایع برای سرعت حد ناپایداری ۸۱
۵-۸. مقایسه پروفیل فشار تحقیق حاضر با پروفیل فشار کوردیبان ۸۳
۵-۹. اثر سرعت فاز مایع بر حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۴
۵-۱۰. اثر طول موج اغتشاشی بر حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۶
۵-۱۱. اثر کسر حجمی فاز مایع بر سرعت حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۷
۵-۱۲. تعیین حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز با لحاظ اثر لزجت ۸۸
۵-۱۳. اثر لزجت مایع بر سرعت حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۹
۵-۱۴. مقایسه کسرحجمی مایع در دو تحلیل لزج و غیرلزج ۹۰
۵-۱۵. اثر دامنه اغتشاشی اولیه بر سرعت حد ناپایداری ۹۱
نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۹۲
مراجع ۹۵

علائم اصلی		بالانویس		زیرنویس	
مساحت	A	مقدار در فصل مشترک	$\hat{}$	مایع	L
پس‌ماند	H			گاز	G
دبی حجمی	$\dot{Q}$			ظاهری	S
سرعت	u			مخلوط	m
کسرحجمی	α			لغزش	S
چگالی	ρ			فصل مشترک	i
شتاب گرانشی	g			سلول محاسباتی	j
ارتفاع فاز	h			اولیه	$initial$
ارتفاع کانال	H				
تنش برشی	τ				
طول خیس‌شده	s				
شیب لوله	β				
فشار	P				
سرعت عرضی	V				
امپدانس صوتی	a				
سرعت صوت	c				
کشش سطحی	σ				
عرض کانال	b				
لزجت دینامیکی	μ				
لزجت سینماتیکی	ν				
طول موج	λ				
طول کانال	L				
قطر هیدرولیکی	D				
دبی جرمی	W				
عدد کورانت	Co				

فهرست اشکال و نمودارها

صفحه

شکل ۱-۱. معرفی برخی از پارامترهای جریان دوفازی ۹

شکل ۱-۲. الگوهای مختلف جریان در لوله‌های افقی ۱۴

شکل ۱-۳. الگوهای جریان دوفازی در خطوط لوله قائم ۱۶

شکل ۱-۴. تبدیل جریان تک‌فازی به دوفازی و تغییر الگوی جریان دوفازی در یک لوله عمودی اواپراتور ۱۷

شکل ۱-۵. ناپایداری یک موج ۱۸

شکل ۴-۱. اغتشاش اولیه در جریان لایه‌ای ۴۷

شکل ۴-۲. نحوه شبکه‌بندی کانال برای حل عددی ۵۵

شکل ۴-۳. هندسه کانال ۶۷

نمودار ۵-۱. مطالعه جریان بدون اعمال اغتشاش اولیه به سیستم ۷۵

نمودار ۵-۲. تغییرات سرعت مایع و گاز بدون اعمال اغتشاش اولیه ۷۶

نمودار ۵-۳. Grid independency حل عددی حاضر برای حالت $u_G = 40\ m/s$ ۷۷

نمودار ۵-۴. Grid independency حل عددی حاضر برای حالت $u_G = -40\ m/s$ ۷۸

نمودار ۵-۵. حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز بدون لحاظ اثر لزجت ۷۹

نمودار ۵-۶. کسرحجمی مایع در زمان‌های مختلف برای $u_G = 40\ m/s$ ۸۰

نمودار ۵-۷. نمودار رشد موج برای سرعت حد ناپایداری ۸۱

نمودار ۵-۸. کسرحجمی مایع در زمان‌های مختلف برای حالت سرعت حدی ۸۲

نمودار ۵-۹. توزیع فشار روی یک موج [کوردیبان، ۱۹۷۷] ۸۳

نمودار ۵-۱۰. توزیع فشار روی یک موج در کار حاضر ۸۴

نمودار ۵-۱۱. اثر سرعت فاز مایع بر حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۵

نمودار ۵-۱۲. اثر طول موج اغتشاشی بر حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۶

نمودار ۵-۱۳. اثر کسر حجمی فاز مایع بر سرعت حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۷

نمودار ۵-۱۴. حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز با لحاظ اثر لزجت ۸۸

نمودار ۵-۱۵. اثر لزجت مایع بر سرعت حد ناپایداری کلوین-هلمهلتز ۸۹

نمودار ۵-۱۶. مقایسه کسرحجمی مایع در دو تحلیل لزج و غیرلزج ۹۰

نمودار ۵-۱۷. اثر دامنه اغتشاشی اولیه بر سرعت حد ناپایداری ۹۱

فصل اول

(مقدمه)

فصل ۱. مقدمه

۱-۱. مقدمه

یک فاز[5] یکی از حالت‌های ماده (گاز، مایع و یا جامد) است. جریان چندفازی[6] جریان هم‌زمان چندین فاز است و جریان دوفازی[7] ساده‌ترین حالت جریان چندفازی است. سه ترکیب متفاوت برای جریان دوفازی موجود است: گاز-مایع، مایع-جامد و جامد-گاز. در میان این سه ترکیب، ترکیب گاز-مایع و یا بخار-مایع از اهمیت بالایی برخوردار است.

موضوع جریان دوفازی گاز-مایع و یا در حالت کلی، جریان چندفازی، به طور چشمگیری در تکنولوژی و تجهیزات مهندسی، مانند سیستم‌های فرآیندی[8]، سیستم‌های انتقال حرارت و به ویژه فناوری هسته‌ای، اهمیت یافته است؛ با وجود این، این موضوع فقط به مسائل مهندسی و مدرن علمی مربوط نمی‌شود؛ بلکه به پدیده‌های طبیعی، که باید به خوبی درک شوند، نیز مرتبط است[انصاری، ۱۹۹۸]. اگر بخواهیم برخی از موارد و مسائلی را نام ببریم که در آن، با جریان‌های دوفازی روبرو هستیم، می‌توانیم به موارد زیر اشاره کنیم: پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های هسته‌ای، بویلرها، کندانسورها، برج‌های تقطیر، موتورهای احتراق داخلی، لوله‌های انتقال نفت و گاز.

مطالعه جریان دوفازی از جنبه‌های گوناگونی حائز اهمیت است. یکی از این موارد، مطالعه دقیق کمیت‌ها در جریان دوفازی است؛ مثلاً محاسبه افت فشار و میزان انتقال حرارت در یک جریان دوفازی که مورد علاقه مهندسان برای انجام طراحی‌های لازم است. مهمترین ضرورت برای مطالعه

---

[5] Phase
[6] Multiphase Flow
[7] Two-Phase Flow
[8] Process Systems

جریان‌های دوفازی، تحلیل ایمنی سیستم است؛ زیرا جریان‌های دوفازی در سیستم‌های هسته‌ای به صورت گسترده‌ای مشاهده می‌شوند و در این سیستم‌ها، تعیین دقیق حداکثر محدوده‌ای که سیستم به صورت ایمن کار می‌کند، بسیار ضروری است.

از آنجایی که مسائل جریان دوفازی، مسائل بسیار پیچیده‌ای هستند و عوامل زیادی بر پدیده‌های حاکم در جریان دوفازی تأثیرگذارند، بسیاری از مسائل مطرح در آن، به صورت تحلیلی قابل حل نیستند و به ناچار باید از روش‌های دیگری برای حل آن بهره جست. مهمترین این روش‌ها، روش‌های عددی است. روش‌های عددی در حل مسائل مربوط به جریان دوفازی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند.کدهای کامپیوتری زیادی جهت تحلیل جریان دوفازی تهیه شده است. کدهای موجود از روش‌های عددی متنوعی استفاده می‌کنند؛ همچنین مقالات زیادی در زمینه فرموله‌کردن جریان‌های دوفازی نوشته شده است.

در ادامه، برخی از تعاریف و مفاهیم اولیه در جریان‌های دوفازی را معرفی می‌کنیم. در فصل دوم این گزارش، مدل‌های جریان دوفازی معرفی و مقایسه‌ای بین آن‌ها انجام می‌شود. فصل سوم، به پیشینه تحقیق در زمینه مدل‌سازی جریان دوفازی و ناپایداری کلوین-هلمهلتز[9] اختصاص دارد. در فصل چهارم، فیزیک مسأله موردنظر توضیح داده شده و به معرفی معادلات مورد استفاده برای تحلیل این مسأله و نحوه حل عددی آن اختصاص یافته است. در فصل پنجم (فصل آخر)، نتایج تحلیل مسأله و بحث بر روی این نتایج و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

[9] Kelvin-Helmholtz Instability

۱-۲. متغیرهای مورد استفاده در جریان‌های دوفازی [وطنی و مخاطب، ۱۳۸۰]

برای انجام محاسبات دقیق طراحی و بهینه‌سازی شرایط کارکرد خطوط لوله انتقال جریان‌های دوفازی، بیان صحیح مفاهیم و معادلات اساسی جریان‌های دوفازی، بسیار ضروری است. در ادامه برخی از این مفاهیم معرفی شده است.

۱-۲-۱. لغزش[10]

لغزش در اصطلاح جریان دوفازی به عقب‌ماندگی و یا کندی سرعت حرکت فاز مایع نسبت به فاز گاز اطلاق می‌شود. مفهوم جریان دوفازی بدون لغزش هنگامی به کار می‌رود که در تمام نقاط سطح مقطع لوله، فازهای مایع و گاز با سرعت یکسان حرکت کرده و هیچ کندی و عقب‌ماندگی بین فازها، وجود نداشته باشد.

عوامل زیر، تا حد زیادی در ایجاد لغزش بین فازهای موجود درون خطوط لوله انتقال جریان‌های دوفازی، موثر می‌باشند:

- مقاومت حاصل از اصطکاک در مقابل جریان‌یافتن و یا افت انرژی برگشت‌ناپذیر در جهت جریان برای فاز گاز نسبت به فاز مایع به مراتب کمتر بوده و این امر باعث می‌شود که در جریان دوفازی، فاز گاز انتقال‌پذیری بیشتری نسبت به فاز مایع، حتی در غیاب اثرات نیروی شناوری قوی داشته باشد.
- اختلاف زیاد بین تراکم‌پذیری فازهای گاز و مایع باعث می‌شود که فاز گاز، منبسط شده و در سرعت‌های بالاتری حرکت نموده و بر روی فاز مایع بلغزد. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که فشار سیال در جهت جریان کاهش یابد.

[10] Slippage

- لغزش بین فازهای مایع و گاز به وسیله اختلاف در نیروهای شناوری عمل‌کننده روی آن فازها، ترویج داده می‌شود؛ به طوری که در یک مایع ساکن، فاز سبک‌تر تمایل به بالا آمدن با سرعتی متناسب با اختلاف جرم‌های ویژه دو فاز دارد.

باید توجه داشت که بنیان اغلب تئوری‌ها و روابط موجود در جریان‌های دوفازی بر مبنای درنظرگرفتن پدیده لغزش بین فازها بوده ولیکن بعضی از این روابط نیز بر مبنای درنظرگرفتن فرضیه عدم وجود لغزش بین فازها (مدل جریان همگن) توسعه یافته‌اند.

۱-۲-۲. پس‌ماند[11]

بعضی کمیت‌ها در جریان دوفازی می‌توانند در اثر اختلاف سرعت بین دو فاز، پس‌ماند یا عقب‌ماندگی داشته باشند که در حالت کلی، تابع نقطه‌ای می‌باشند؛ به عنوان مثال، پس‌ماند مایع به صورت نسبت حجمی قسمتی از لوله که توسط مایع اشغال شده است، به حجم همان قسمت از لوله (شامل حجم مایع و گاز) تعریف می‌شود.

مقدار پس‌ماند مایع، عددی بین صفر (هنگامی که تمام سطح مقطع خط لوله را گاز اشغال کرده باشد) و یک (هنگامی که تمام سطح مقطع خط لوله را مایع اشغال نماید) می‌باشد.

پارامترهای موردنیاز جریان‌های چندفازی معمولاً با انتخاب یک کسر از مساحت کل سطح مقطع لوله برای هر فاز، بررسی می‌شوند؛ به طوری که:

$$A = A_L + A_G \qquad (۱-۱)$$

$$E_L = \frac{A_L}{A} \qquad (۱-۲)$$

[11] Holdup

$$E_G = \frac{A_G}{A} \qquad (۳-۱)$$

در روابط فوق، A مساحت کل سطح مقطع، A_L و A_G به ترتیب مساحت سطح مقطع اشغال شده توسط فاز مایع و گاز، E_L و E_G نیز به ترتیب کسر مساحت‌های سطح مقطع اشغال شده خط لوله توسط فازهای مایع و گاز می‌باشند؛ بنابراین، برای یک طول معین L از خط لوله جریان، با استفاده از روابط فوق می‌توان نوشت:

$$H_L = \frac{\int_0^L A\, E_L\, dL}{A\, L} \qquad (۴-۱)$$

همچنین، پس‌ماند فاز گاز نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$H_G = \frac{\int_0^L A\, E_G\, dL}{A\, L} = 1 - H_L \qquad (۵-۱)$$

۱-۲-۳. سرعت ظاهری[12] گاز و مایع

بسیاری از روابط تجربی موجود در جریان دوفازی بر مبنای استفاده از یک متغیر به نام سرعت ظاهری، استوار می‌باشند. طبق تعریف، سرعت ظاهری هر فاز عبارت است از نسبت میزان جریان حجمی آن فاز، هنگامی که به طور مستقل تمام فضای لوله را اشغال کرده باشد، به سطح مقطع کل همان لوله؛ به عبارت دیگر:

$$u_{GS} = \frac{\dot{Q}_G}{A} \qquad (۶-۱)$$

$$u_{LS} = \frac{\dot{Q}_L}{A} \qquad (۷-۱)$$

[12] Superficial velocity

به طوری که u_{LS} و u_{GS} به ترتیب، سرعت‌های ظاهری فازهای مایع و گاز می‌باشند.

در حقیقت، سرعت‌های ظاهری فازها، معیاری از دبی گذرنده آن فازها می‌باشند.

۱-۲-۴. سرعت واقعی

طبق تعریف، سرعت واقعی (نقطه‌ای) هر فاز عبارت است از: سرعت هر فاز با درنظرگرفتن وجود فاز دیگر در همان خط لوله؛ به عبارت دیگر، سرعت واقعی هر فاز در هر نقطه، تابعی از مقدار پس‌ماند آن فاز می‌باشد؛ به طوری که می‌توان نوشت:

$$u_G = \frac{\dot{Q}_G}{A\,H_G} \qquad (۱-۸)$$

$$u_L = \frac{\dot{Q}_L}{A\,H_L} \qquad (۱-۹)$$

۱-۲-۵. سرعت جریان دوفازی

با درنظرگرفتن تعریف سرعت ظاهری فازها، سرعت جریان مخلوط دوفازی (u_m) عبارت است از: مجموع سرعت‌های ظاهری هریک از فازها؛ به عبارت دیگر، سرعت جریان دوفازی را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$u_m = \frac{\dot{Q}_L + \dot{Q}_G}{A} = u_{LS} + u_{GS} \qquad (۱-۱۰)$$