٤٢٩٠

١٩٩١٢

۸۷/۱۱/۱۰ ۸۷ ۱۲
۸۸ ۲۰۲

T.M.U.
دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

(تبدیل انرژی)

کاربرد روش Level Set در جریانهای دوفازی لایه‌ای گاز- مایع

اسماعیل حاتمی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا انصاری

۱۳۸۸ /۱/ ۱۸

زمستان ۱۳۸۷

۱۰۹۹۱۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای اسماعیل حاتمی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان کاربرد روش** Level Set **درجریانهای دو فازی لایه ای گاز- مایع** در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱ 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 کیومرث مظاهری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی اشجعی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر کیومرث مظاهری	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه ارسالی مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

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 باشد.

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 می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

اسماعیل حاتمی

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» 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 رشته **مهندسی‌مکانیک-تبدیل انرژی** است که در سال **۱۳۸۷** در دانشکده **فنی مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر **محمدرضا انصاری** ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر - و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر - از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **اسماعیل حاتمی** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: اسماعیل حاتمی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۱۱/۱۹

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم.

تشکر و قدردانی:

در آغاز، بر خود وظیفه می‌دانم که از زحمات استاد راهنمای محترم، جناب آقای دکتر انصاری که در مراحل مختلف تدوین و نگارش پایان‌نامه‌ی حاضر از راهنمایی‌های ایشان استفاده کرده‌ام کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

و همچنین از زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ خانواده‌ام به ویژه پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل تحصیلم بدون هیچ چشم‌داشتی صبورانه مرا حمایت و پشتیبانی کرده‌اند، تشکر می‌کنم.

چکیده

در این پایان نامه، جریان دوفازی لایه‌ای گاز- مایع با استفاده از روش Level Set به صورت دو بعدی مدل شده و فاکتور حد ناپایداری موج در این نوع جریانها برای اولین بار به صورت دو بعدی بررسی و ارائه شده است. مدل فیزیکی مسأله شامل کانالی افقی با سطح مقطع مستطیلی می‌باشد که دو فاز به صورت کاملاً مجزا و موازی با امتداد کانال حرکت می‌کنند. جریانهای دو فاز آرام فرض شده‌اند و شرایط مرزی مورد استفاده در تحلیل عددی بعد از یک طول موج مشخص به صورت تناوبی در نظر گرفته شده است. یک اغتشاش اولیه به شکل موج سینوسی در سطح مشترک دو فاز لحاظ شده و نحوهٔ رشد یا کاهش دامنهٔ این اغتشاش در اثر تغییر برخی از پارامترهای هندسی و فیزیکی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در روش عددی به کارگرفته شده در این پایان‌نامه، شبیه‌سازی عددی میدان جریان دوفازی لایه‌ای و حل میدان سرعت از طریق روش حجم محدود با استفاده از الگوریتم SIMPLE صورت گرفته است. از طرف دیگر تعقیب سطح مشترک بین دو فاز در هر لحظه با استفاده از روشLevel Set صورت می‌گیرد که در آن برای حل عددی مشتقات مکانی معادلهٔ Level Set از روش هامیلتون-ژاکوبی ENO استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، مشاهده شد که نتایج تحقیق توافق خوبی با نتایج تجربی موجود داشته و نسبت به تحقیقات یک‌بعدی قبل فیزیکی‌تر می‌باشند.

واژگان کلیدی: جریان دوفازی لایه‌ای، سطح مشترک، کانال افقی، حل عددی، روش Level Set، الگوریتم SIMPLE ، حد ناپایداری.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم ونشانه‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل اول- مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم- مروری بر جریانهای دوفازی و پیشینهٔ تحقیق ۵

۲-۱- مروری بر جریانهای دوفازی ۶

۲-۱-۱- دسته بندی جریانهای دو فازی ۷

۲-۱-۲- الگوهای جریان دوفازی ۸

۲-۱-۲-۱- الگوهای جریان در لوله‌های عمودی ۹

۲-۱-۲-۲- الگوهای جریان در لوله‌های افقی ۱۱

۲-۱-۳- متغیرهای مهم مورد استفاده در جریانهای دوفازی ۱۳

۲-۱-۴- مدلهای جریان دوفازی ۱۵

۲-۱-۵- ناپایداری کلوین- هلمهلتز ۱۸

۲-۲- پیشینهٔ تحقیق ۲۰

۲-۲-۱- تحقیقات انجام شده توسط هن‌کاکس ۲۰

۲-۲-۲- تحقیقات انجام شده توسط Watanabe & Hirano ۲۱

۲-۲-۳- تحقیقات انجام شده توسط رنسم ۲۳

۲-۲-۴- مروری برتحقیقات انجام شده در ایران ۲۵

۲-۲-۵- جایگاه تحقیق حاضر ۲۷

فصل سوم- معرفی روش Level Set ۲۹
۳-۱- روشهای دنبال کنندهٔ سطح مشترک ۳۰
۳-۱-۱- روش‌های تعقیب مرز ۳۱
۳-۱-۲- روش های تسخیر مرز ۳۲
۳-۲- معرفی روش Level Set ۳۵
۳-۲-۱- اساس روش Level Set ۳۵
۳-۲-۱-۱- حرکت یک منحنی با توجه به انحنای آن ۳۵
۳-۲-۲- معرفی توابع فاصلهٔ علامت دار ۳۸
۳-۲-۲-۱- توابع فاصله ۳۸
۳-۲-۲-۲- توابع فاصلهٔ علامت دار ۳۹
۳-۲-۳- معادلهٔ Level Set ۴۲
۳-۳- کاربرد روش Level Set در جریانهای دوفازی ۴۳

فصل چهارم- طرح مسأله و الگوریتم حل ۴۶
۴-۱- تعریف هندسه و شرایط فیزیکی مسأله ۴۷
۴-۲- معادلات حاکم ۴۹
۴-۳- روش حل عددی ۵۱
۴-۳-۱- حل میدان جریان به روش الگوریتم SIMPLE ۵۲
۴-۳-۲- حل عددی معادلهٔ Level Set ۵۵
۴-۳-۲-۱- روش Upwind Differencing ۵۶
۴-۳-۲-۲- روش هامیلتون-ژاکوبیENO ۵۷
۴-۳-۲-۳- بررسی پایداری از طریق شرطCFL ۶۲
۴-۳-۳- الگوریتم کلی حل عددی ۶۲
۴-۴- شرایط اولیه ۶۳
۴-۵- شرایط مرزی ۶۴

فصل پنجم- ارائهٔ نتایج، بحث و نتیجه‌گیری ۶۵
۵-۱- تعیین حد ناپایداری و بررسی رشد موج ۶۶
۵-۲- بررسی عدم وابستگی حل به شبکه محاسباتی ۶۸
۵-۳- بررسی رشد موج درسرعتهای بالای گاز ۶۹
۵-۴- بررسی روند تغییر شکل سطح مشترک ۷۰
۵-۵- اثر چگالی در رشد موج ۷۲
۵-۶- اثر طول موج اغتشاش اولیه در رشد موج ۷۴
۵-۷- اثر کسر حجمی اولیه مایع در رشد موج ۷۷
۵-۸- اثر سرعت مایع در رشد موج ۸۰
۵-۹- اثر لزجت مایع در رشد موج ۸۱
۵-۱۰- بررسی بقای جرم ۸۲
۵-۱۱- بررسی اعتبار و صحت مدل حاضر ۸۴
۵-۱۲- جمع بندی و نتیجه گیری ۸۷
۵-۱۳- پیشنهادات ۸۸

مراجع ۸۹

علائم اصلی

مساحت	A
قطر لوله	D
طول کانال	L
ارتفاع کانال	H
کسر حجمی (کسر فضای خالی)	α
دبی جرمی	W
چگالی	ρ
لزجت	μ
شتاب گرانشی	g
سرعت افقی (در امتداد کانال)	u
سرعت عمودی (عمود بر امتداد کانال)	v
فشار	P
تابع فاصله	d
تابع فاصلهٔ علامت‌دار (تابع Level Set)	ϕ
انحنا	k

بالا نویس

زمان قدیم	n
زمان جدید	n+1
مقادیر در زمان قدیم	o
مقدار حدسی	*
مقدار تصحیح کننده	'

زیر نویس

گاز	G
مایع	L
مشتق نسبت به زمان	t
شمارندهٔ سطری	i
شمارندهٔ ستونی	j
نقطهٔ قطب	P
نقطهٔ شرقی	E
نقطهٔ غربی	W
نقطهٔ شمالی	N
نقطهٔ جنوبی	S
نقاط همسایه	nb
سطح مشترک	int
اولیه	initial

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل دوم- مروری بر جریانهای دوفازی و پیشینهٔ تحقیق

شکل۲-۱: الگوهای جریان در لوله‌های عمودی ۹

شکل۲-۲: الگوهای جریان در لوله‌های افقی ۱۱

شکل۲-۳: برخی از متغیرهای مهم جریان دوفازی ۱۳

فصل سوم- معرفی روش Level Set

شکل۳-۱: نمونه ای از شبکه بندی میدان حل در روشهای تعقیب مرز ۳۱

شکل۳-۲: نمایش مرز در حال گسترش روی یک شبکه ثابت اولری در روشهای تسخیر مرز با استفاده از تابع نشانگرC ۳۳

شکل۳-۳: حرکت نقاط با توجه به انحنای منحنی در آن نقاط(جهت و طول پیکان، نشان دهنده این حرکت هستند) ۳۶

شکل۳-۴: مشخص کردن نواحی مختلف توسط تابع ضمنی ϕ، برای مرز دایره‌ای شکل ۴۰

شکل۳-۵: نوع علامتهای K با توجه به محدب یا مقعر بودن سطوح ۴۱

فصل چهارم- طرح مسأله و الگوریتم حل

شکل۴-۱. شماتیک کانال شامل جریان دوفازی که اغتشاشی به شکل موج سینوسی به سطح مشترک اعمال شده ۴۸

شکل۴-۲: نمونه‌ای از یک حجم کنترل در روش حجم محدود ۵۱

شکل۴-۳: حجم کنترل جابجا شده برای محاسبهٔ u ۵۴

شکل۴-۴: حجم کنترل جابجا شده برای محاسبهٔ v ۵۴

شکل۴-۵: حجم کنترل، برای معادلهٔ پیوستگی ۵۵

فصل پنجم- ارائهٔ نتایج، بحث و نتیجه‌گیری

شکل۵-۱: تعیین حد ناپایداری کلوین – هلمهولتز برای جریان هوا- آب ۶۷

شکل۵-۲: بررسی عدم وابستگی حل به شبکه محاسباتی ۶۸

شکل۵-۳: میزان رشد موج در ازای سرعتهای بالای گاز ۶۹

شکل۵-۴: زمان لازم برای رشد حداکثر موج به ازای سرعت‌های مختلف گاز ۷۰

شکل۵-۵: حرکت موج به ازای $u_g = 16\ m/s$ و $u_l = 1\ m/s$ ۷۱

شکل۵-۶: حرکت موج به ازای $u_g = 25\ m/s$ و $u_l = 1\ m/s$ ۷۱

شکل۵-۷: تعیین حد ناپایداری برای جریان دوفازی هوا و نفت ۷۲

شکل۵-۸: تعیین حد ناپایداری برای جریان دوفازی نفت و آب ۷۳

شکل۵-۹: اثر چگالی روی حد ناپایداری ۷۴

شکل۵-۱۰: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\lambda = ۰/۳$ m) ۷۵

شکل۵-۱۱: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\lambda = ۰/۵$ m) ۷۵

شکل۵-۱۲: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\lambda = ۰/۷$ m) ۷۶

شکل۵-۱۳: اثر طول موج روی حد ناپایداری ۷۷

شکل۵-۱۴: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\alpha_L = ۰/۲۵$) ۷۸

شکل۵-۱۵: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\alpha_L = ۰/۶۵$) ۷۸

شکل۵-۱۶: نمودار رشد موج برای هوا و آب($\alpha_L = ۰/۹$) ۷۹

شکل۵-۱۷: اثر کسر حجمی مایع روی حد ناپایداری ۸۰

شکل۵-۱۸: اثر سرعت اولیه مایع روی حد ناپایداری ۸۱

شکل۵-۱۹: اثر لزجت مایع روی حد ناپایداری ۸۲

شکل۵-۲۰: بررسی بقای جرم فاز مایع در طول کانال ۸۳

شکل۵-۲۱: بررسی بقای جرم فاز گاز در طول کانال ۸۳

شکل۵-۲۲: توزیع فشار روی یک موج (کوردیبان) ۸۴

شکل۵-۲۳: توزیع فشار روی یک موج (تحقیق حاضر) ۸۵

شکل۵-۲۴: مقایسه‌ی نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر برای حد ناپایداری برحسب کسر تهی با نتایج تحلیلی موجود ۸۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

هدف از این تحقیق مدلسازی دو بعدی جریان دوفازی لایه‌ای[1] گاز- مایع، تعقیب سطح مشترک[2] بین دو فاز و بررسی حد ناپایداری جریان، به روش عددی می‌باشد. در تحقیق حاضر برای اولین بار، جریان دوفازی لایه‌ای به صورت دو بعدی مدل شده است.

در روش عددی به کار رفته برای شبیه سازی میدان جریان دو فازی از روش حجم محدود استفاده شده که در این روش با استفاده از الگوریتم SIMPLE ، میدان سرعت و ترم فشار بدست می آید، از طرف دیگر تعقیب سطح مشترک بین دو فاز در هر لحظه با استفاده از روش Level Set صورت می‌گیرد. کار مهم دیگری که روش Level Set در این متد عددی انجام می دهد تسخیر[3] کل میدان حل عددی می‌باشد که به این طریق، سه ناحیهٔ مختلف گاز، مایع و باند نازک شامل سطح مشترک دو فاز در میدان مشخص شده و با تعریف تابع Heaviside مشخصات تمام المانهای شبکه[4] از قبیل چگالی و لزجت تعیین می‌شوند. در این پایان نامه برای حل عددی مشتقات مکانی موجود در معادلهٔ Level Set از روش هامیلتون-ژاکوبیENO[5] مرتبهٔ ۳ استفاده شده است.

[1]- Two-Phase Stratified Flow
[2]- Interface Tracing
[3]- Capture
[4]- mesh
[5]- Hamilton-Jacobi ENO

با توجه به اینکه اکثر کارهای قبلی که در زمینهٔ مدلسازی عددی جریانهای‌دوفازی لایه‌ای صورت گرفته به علت محدودیتهای خاص آن همگی یک بعدی بوده‌اند، اهمیت تحقیق حاضر که مدلی دو بعدی ارائه کرده است بیشتر نمایان می‌شود، و نتایج بدست آمده نیز گویای این مطلب است که مدل دو بعدی حاضر به فیزیک جریان دو فازی لایه‌ای نزدیکتر است.

در فصل دوم، مرور کلی بر جریانهای دو فازی صورت گرفته است که در آن دسته بندی و الگوهای مختلف جریانهای دو فازی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامهٔ این فصل ناپایداری کلوین-هلمهلتز توضیح داده شده است و مروری کلی بر تحقیقات انجام شده در زمینهٔ جریانهای دو فازی و نیز تحقیقات انجام شده در کشور صورت گرفته است و در نهایت جایگاه تحقیق حاضر در میان تحقیقات قبلی معرفی شده است.

در فصل سوم، روش Level Set معرفی شده است. در این فصل ابتدا روشهای دنبال کنندهٔ مرز ارائه شده و سپس مفاهیم اصلی روش Level Set شامل اساس روش Level Set ، تابع فاصلهٔ علامت‌دار و رابطهٔ اصلی Level Set معرفی شده‌اند و در نهایت کاربرد روش Level Set در جریانهای دو فازی و روابط مربوطه ارائه شده است.

در فصل چهارم، به طرح مسأله و معرفی الگوریتم حل پرداخته شده است. در این فصل هندسه مسأله، معادلات حاکم و روش حل عددی به کار گرفته شده برای شبیه سازی دو بعدی جریان دوفازی لایه‌ای ارائه شده‌اند.

در فصل پنجم، نتایج بدست آمده از تحلیل دو بعدی ارائه شده است. در این فصل تأثیر پارامترهای مختلف روی این نوع جریانها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به بحث و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

باتوجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که نتایج این تحقیق توافق خوبی با نتایج تجربی موجود داشته و نسبت به تحقیقات یک بعدی قبل به فیزیک جریان نزدیکتر می‌باشند.

خلاصهٔ نتایج بدست آمده در این پایان نامه به صورت زیر می‌باشد:

- هر چه نسبت چگالی دو فاز کمتر شود، حد ناپایداری نیز کاهش می‌یابد.
- هر چه طول موج اغتشاش اولیه بیشتر شود، حد ناپایداری کاهش می‌یابد.
- که با افزایش کسرحجمی فاز مایع و یا به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع اولیهٔ فاز مایع، حد ناپایداری‌کاهش می‌یابد.
- با افزایش سرعت اولیه مایع، حد ناپایداری کاهش می‌یابد.

فصل دوم

مروری بر جریانهای دوفازی و پیشینه تحقیق

۲-۱- مروری بر جریانهای دوفازی[1]

به طور کلی منظور از فاز[2] ، یکی از حالتهای سادهٔ ماده (جامد، مایع وگـاز) مـی‌باشـد. و جریـان چند فازی، به معنی جریان همزمان چند فاز در کنار هم می‌باشد که این فازهـا اثـر متقـابلی بـر روی یکدیگر دارند. جریان دوفازی، ساده ترین نوع جریان چند فازی می‌باشد که سه ترکیب مختلف فـازی برای آن وجود دارد: گاز- مایع ، مایع- جامد و گاز- جامد. از میان این سه ترکیب، جریانهای دو فـازی گاز (ویا بخار)- مایع، به دلیل محدودهٔ وسیع کاربرد آنها، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشند.

جریانهای دو فازی و در حالت کلی جریانهـای چنـد فـازی، بـه طـور فزاینـده در تکنولـوژی و فرایندهای مختلف صنعتی مشاهده می‌شوند، که از جملهٔ آنهـا مـی‌تـوان بـه مـوارد زیـر اشـاره کـرد:

۱- سیسـتمهای فراینـدی[3] از قبیـل Extraction ، Distillation ، Phase Separators ، رآکتورهـای شیمیایی و اتومایزرها[4].

۲- سیستمهای انتقال حرارت مانند اواپراتورها، کندانسورها، مبدلهای حرارتی ، Heat pipes ، Spray Cooling و Towers .

۳- سیستمهای کنترل محیطی[5] مانند Cooler ، Dust Collector و Air Pollution .

۴- سیستمهای انتقال[6] از قبیل Ejectors ، Pipeline ، Mixtures .

۵- سیستمهای تولید انرژی مانند نیروگاه های حرارتی و هسته ای و نظایر آنها.

---

[1]- Two-Phase Flows
[2]- Phase
[3]- Process System
[4]- Atomizers
[5]- environmental Control Systems
[6]- Transport Systems