دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

عنوان پایان‌نامه:

کاربرد روش AUSM در مدل دوسیالی دوفشاری در پیش‌بینی شوک

نام دانشجو:

هادی ایمانی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا انصاری

پاییز ۹۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای هادی ایمانی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **بررسی ناپایداری هیدرودینامیکی در جریان دو فازی لایه ای دو فشاره با روش AUSM** در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۱۹ 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	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی معرفت	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهرداد رئیسی دهکردی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مهدی معرفت	دانشیار	

آیین‌نامه با ... نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... ورودی سال تحصیلی .....
مقطع ..... دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....
تاریخ: .....

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 تدریس ابتدایی است که در سال ۹۰ در دانشکده فنی و 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حمیدرضا دانشجوی رشته تدریس ابتدایی مقطع دکتری

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حمیدرضا

تاریخ و امضا: ۹۰/۹/۸

چکیده

در پایان‌نامه حاضر به تحلیل و بررسی جریان دوفازی لایه‌ای با استفاده از روش‌های AUSMV، AUSMD و روش هیبریدی AUSMDV پرداخته شده است. مدل مورد استفاده در این تحقیق، مدل پنج معادله‌ای شامل دو معادله پیوستگی، دو معادله مومنتم و یک معادله برای کسر حجمی می‌باشد. این مدل به علت شکل مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبی سیستم که همگی حقیقی می‌باشند، یک مدل خوش‌رفتار است. گسسته‌سازی زمانی بصورت صریح انجام گرفته و جهت گسسته‌سازی مکانی از روش‌های فوق استفاده شده است. جهت حل عددی معادلات گسسته‌شده یک کد کامپیوتری در FORTRAN90 نوشته شده و نتایج تحلیل شده‌اند.

جهت بررسی این روش‌ها چند نمونه مسئله که جریان در آنها حاوی‌شوک بوده یا در اثر شرایط جریان شوک در آن پدید می‌آید، بررسی شده‌اند. نتایج بیانگر این نکته می‌باشند که روش AUSMD نسبت به روش AUSMV در تعداد سلول کم به جز در نقاط ناپیوستگی تیز یا شوک که دارای نوسانات نامطلوبی است، در باقی نقاط از دقت بالاتری برخوردار است، همچنین نوسانات این روش با ریزتر شدن شبکه نقاط زدوده می‌شود در حالی که نوسانات روش AUSMV با ریزتر شدن شبکه نقاط از بین نمی‌روند.

روش AUSMDV که از ترکیب هردو روش فوق حاصل می‌گردد، نسبت به دو روش مبنا از دقت بالاتری برخوردار است. با این حال نتایج حاصل از این روش در بیشتر مسائل به روش AUSMD بسیار نزدیک می‌باشد که این امر به دلیل کوچکی ضریبی است که دو روش AUSMV و AUSMD را به روش AUSMDV تبدیل می‌کند. کوچک بودن این ضریب، روش هیبریدی را به روش AUSMD نزدیک‌تر می‌کند.

نکته بارز این روش‌ها، توانایی بالای آنها در محاسبه میدان فشار می‌باشد. میدان فشار در تمامی مسائل حل شده در این پایان‌نامه به خوبی محاسبه شده است و با توجه به نتایج مرجع از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. این مسئله یکی از امتیازات اساسی این روش‌ها در مقایسه با روش‌های دیگری از جمله مدل‌های فلاکس رانشی می‌باشد.

فهرست مطالب

فصل اول: ۱

مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- انواع جریان های دوفازی ۳
۱-۳- الگوهای جریان دوفازی گاز – مایع ۴
۱-۳-۱- الگوهای جریان در لوله های افقی ۵
۱-۳-۲- الگوهای جریان در لوله های قائم ۹

فصل دوم: ۱۲

مدل های ریاضی جریان دوفازی و مقایسه آنها ۱۲

۲-۱- مدل های ریاضی جریان دوفازی ۱۳
۲-۱-۱- مدل HEM ۱۳
۲-۱-۲- مدل DFM ۱۴
۲-۱-۳- مدل TFM ۱۵
۲-۱-۴- مقایسه بین مدل ها ۱۵

فصل سوم: ۱۷

پیشینه تحقیق ۱۷

۳-۱- مروری بر کارهای گذشته ۱۸
۳-۲- کدهای تجاری جریان دوفازی ۲۲
۳-۲-۱- کدTRAC ۲۳
۳-۲-۲- کد RELAP5 ..... ۲۴
۳-۲-۳- کد PHOENICS ۲۵
۳-۲-۴- کد MINCS ۲۵
۳-۳- ناپایداری های هیدرودینامیکی ۲۶
۳-۳-۱- ناپایداری رایلی – تیلور (R-T)(حاصل از نیروی شناوری) ۲۶
۳-۳-۲- ناپایداری کلوین – هلمهولتز (K-H) ۲۶
۳-۳-۳- مروری بر تحقیقات انجام شده در ایران ۲۹
۳-۴- جایگاه تحقیق حاضر ۳۱

فصل چهارم: ۳۲

تعریف مساله و استخراج روش عددی ۳۲

۴-۱- استخراج معادلات حاکم بر جریان ۳۳
۴-۱-۱- معادلات بقای یک بعدی ۳۴

۴-۱-۲- معادلات بقایی و غیر بقایی ۳۴
۴-۱-۳- مدل عددی و سیستم معالات حاکم ۳۸
۴-۱-۴- زیر مدل های ترمودینامیکی ۴۰
۴-۱-۴- مدلسازی فشار در سطح مشترک ۴۱
۴-۱-۵- آنالیز ساختاری سیستم پنج معادله ای ۴۲
۴-۱-۶- روش های هیبریدی جداسازی شار ۴۵
۴-۱-۷- تفسیر شار جابجایی عددی ۴۶
۴-۱-۸- جداسازی به روش FVS ۵۱
۴-۱-۹- نحوه محاسبه سرعت سطح مشترک دو فاز ۵۳
۴-۱-۱۰- استخراج روش هیبریدی AUSMDV ۵۳
۴-۲- شکل کلی گسسته شده معادلات بقاء ۵۴
۴-۲-۱- روش AUSMV ۵۵
۴-۲-۲- روش AUSMD ۵۵
۴-۲-۳- روش AUSMDV ۵۶
۴-۳- شبکه مورد استفاده و شرایط مرزی ۵۸
۴-۳-۱- تعیین مقادیر گام های زمانی و مکانی ۵۹

فصل پنجم: ۶۰

بررسی نتایج ۶۰

۵-۱- اعتبارسنجی عددی مدل های جریان دوفازی ۶۱
۵-۱-۱- مسئله Large Relative Velocity Shock Tube 1 (LRV Shock Tube 1) ۶۱
۵-۱-۲- مسئله Large Relative Velocity Shock Tube 2(LRV Shock Tube 2) ۷۱
۵-۱-۳- مسئله لوله شوک تومی (Toumi's Shock Tube) ۷۶
۵-۱-۴- مسئله شیر آب (Water Faucet) ۷۹
۵-۱-۵- ناپایداری کلوین-هلمهولتز ۸۷
۵-۱- نتیجه گیری ۸۹
۵-۲- پیشنهادات ۹۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱. انواع الگوهای جریان در لوله های افقی ۶
شکل ۱-۲. انواع الگوهای جریان در لوله های قائم ۱۰
شکل ۱-۳ . تبدیل الگوهای جریان در یک لوله اواپراتور ۱۱
شکل۴-۱. شماتیک Stratified Flow ۳۹
شکل ۵-۱. پروفیل کسر حجمی مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMV ۶۳
شکل ۵-۲. پروفیل فشار در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMV ۶۳
شکل ۵-۳. پروفیل سرعت فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMV ۶۴
شکل ۵-۴. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMV ۶۵
شکل ۵-۵. پروفیل سرعت فاز گاز در گذر زمان تا ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMV ۶۵
شکل ۵-۶. پروفیل کسر حجمی مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMD ۶۶
شکل ۵-۷. پروفیل سرعت فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMD ۶۶
شکل ۵-۸. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMD ۶۷
شکل ۵-۹. پروفیل فشار در زمان ۰/۱ با ۲۰۰ سلول به روش AUSMD ۶۷
شکل ۵-۱۰. مقایسه نتایج روش AUSMD با تعداد سلول ۲۰۰ و ۲۰۰۰ با نتایج مرجع ۶۸
شکل ۵-۱۱. پروفیل کسر حجمی فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMDV ۶۹
شکل ۵-۱۲. پروفیل سرعت فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMDV ۶۹
شکل ۵-۱۳. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۰
شکل ۵-۱۴. پروفیل فشار در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۰
شکل ۵-۱۵. پروفیل کسر حجمی فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMD ۷۲
شکل ۵-۱۶. پروفیل سرعت فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMD ۷۲
شکل ۵-۱۷. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMD ۷۳
شکل ۵-۱۸. پروفیل فشار در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMD ۷۳
شکل ۵-۱۹. پروفیل کسر حجمی فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMV ۷۴
شکل ۵-۲۰. پروفیل سرعت فاز مایع در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMV ۷۴
شکل ۵-۲۱. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMV ۷۵
شکل ۵-۲۲. پروفیل فشار در زمان ۰/۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۴۰۰ سلول به روش AUSMV ۷۵
شکل ۵-۲۳. پروفیل کسر حجمی گاز در زمان۰/۰۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۷
شکل ۵-۲۴. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۰۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۷
شکل ۵-۲۵. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۰۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۸

شکل ۵-۲۶. پروفیل فشار در زمان ۰/۰۱ ثانیه با ۲۰۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ سلول به روش AUSMDV ۷۸
شکل ۵-۲۷. شماتیک مسئله شیر آب (a) حالت اولیه، (b) حالت گذرا و (c) حالت پایا..... ۷۹
شکل ۵-۲۸. پروفیل کسر حجمی فاز گاز در شبکه های متفاوت با روش AUSMD ۸۱
شکل ۵-۲۹. پروفیل کسر حجمی فاز گاز در شبکه های متفاوت با روش AUSMV ۸۱
شکل ۵-۳۰. پروفیل کسر حجمی فاز گاز در شبکه های متفاوت با روش AUSMDV..... ۸۲
شکل ۵-۳۱. پروفیل کسر حجمی فاز گاز در زمان ۰/۶ ثانیه با ۱۵۰ سلول به روش AUSMDV ۸۳
شکل ۵-۳۲. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۶ ثانیه با ۱۵۰ سلول به روش AUSMDV..... ۸۳
شکل ۵-۳۳. پروفیل سرعت فاز گاز در زمان ۰/۶ ثانیه با ۱۵۰ سلول به روش AUSMDV..... ۸۴
شکل ۵-۳۴. پروفیل فشار در زمان ۰/۶ ثانیه با ۱۵۰ سلول به روش AUSMDV..... ۸۴
شکل ۵-۳۵. پروفیل کسر حجمی فاز گاز با سه روش AUSMV، AUSMD و AUSMDV در زمان ۰/۶ ثانیه ۸۵
شکل ۵-۳۶. پروفیل سرعت فاز مایع با سه روش AUSMV، AUSMD و AUSMDV در زمان ۰/۶ ثانیه.. ۸۵
شکل ۵-۳۷. پروفیل سرعت فاز گاز با سه روش AUSMV، AUSMD و AUSMDV در زمان ۰/۶ ثانیه.....۸۶
شکل ۵-۳۸. پروفیل فشار با سه روش AUSMV، AUSMD و AUSMDV در زمان ۰/۶ ثانیه.....۸۶
شکل ۵-۳۸. ناپایداری کلوین- هلمهولتز..... ۸۸

فهرست جداول

جدول ۱-۱. مشخصات مبنا برای دوفاز ۴۱
جدول ۵-۱. شرایط اولیه و مرزی مسئله لوله شوک LRV Shock Tube1 ..... ۶۲
جدول ۵-۲. مشخصات مبنا برای دو فاز هوا و آب ۶۲
جدول ۵-۳. شرایط مرزی و اولیه مسئله LRV Shock Tube 2 ..... ۷۱
جدول ۵-۴. شرایط مرزی و اولیه مسئله لوله شوک تومی ۷۶
جدول ۵-۵. شرایط اولیه مسئله شیر آب ۸۰
جدول ۵-۶. شرایط اولیه و مرزی ناپایداری کلوین- هلمهولتز ۸۷

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

یک فاز یکی از حالت‌های ماده به‌صورت گاز ، مایع و یا جامد است. جریان چند فازی [۱] جریان هم زمان چندین فاز بوده و جریان دو فازی [۲] ساده ترین حالت جریان چند فازی است. سه ترکیب متفاوت برای جریان دو فازی موجود است: گاز- مایع، مایع- جامد و جامد- گاز، که در بین این سه ترکیب، ترکیب گاز- مایع یا بخار- مایع به دلیل کاربرد در سیستم‌های مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است .

موضوع جریان دو فازی گاز- مایع و یا در حالت کلی جریان چند فازی، در تکنولوژی و تجهیزات مهندسی، مانند سیستم های فرایندی [۳] ، سیستم‌های انتقال حرارت و بویژه فناوری هسته‌ای به طور چشمگیری اهمیت یافته است. با وجود این، این موضوع فقط به مسائل مهندسی و مدرن علمی مربوط نمی‌شود بلکه به پدیده های طبیعی، که باید به خوبی درک شوند نیز مرتبط است. اگر بخواهیم برخی از موارد و مسائلی را نام ببریم که در آن با جریان‌های دو فازی روبرو هستیم، می توانیم به موارد زیر

[1] Multiphase flow
[2] Two-phase flow
[3] Process systems

اشاره کنیم: پالایشگاهها، نیروگاههای حرارتی، نیرو گاههای هسته‌ای، بویلرها، کندانسورها، برجهای تقطیر، موتورهای احتراق داخلی، لوله های انتقال نفت و گاز و ... .

مطالعه جریان دو فازی از جنبه‌های گوناگونی حائز اهمیت است که یکی از این موارد مطالعه دقیق کمیت‌ها در جریان دو فازی است. به عنوان نمونه محاسبه افت فشار و میزان انتقال حرارت در یک جریان دوفازی که مورد علاقه مهندسان برای انجام کارهای طراحی است. مهم‌ترین ضرورت برای مطالعه جریان‌های دوفازی، تحلیل ایمنی سیستم است. زیرا جریان‌های دو فازی در سیستمهای مهندسی به صورت گسترده‌ای مشاهده می‌شوند و در این سیستم‌ها، تعیین دقیق حداکثر محدوده‌ای که سیستم به صورت ایمن کار می‌کند بسیار ضروری می‌باشد.

از آنجایی که مسائل جریان دو فازی، بسیار پیچیده بوده و عوامل زیادی بر پدیده‌های حاکم در جریان دوفازی تاثیر گذار هستند، بسیاری از مسایل مطرح در آن بصورت تحلیلی قابل حل نمی‌باشند و به ناچار باید از روش‌های دیگری برای حل آنها بهره برد که مهمترین این روش‌ها، روش‌های عددی می‌باشند. روش‌های عددی در حل مسائل مربوط به جریان دوفازی نقش بسیار مهمی ایفا می کنند و کدهای کامپیوتری متعددی جهت تحلیل جریان دوفازی تهیه شده است که از روش‌های عددی متفاوتی استفاده می کنند، همچنین مقالات علمی زیادی در زمینه فرموله کردن جریانهای دو فازی به رشته تحریر درآمده و منتشر گردیده است.

۱-۲- انواع جریان‌های دوفازی

سه ترکیب مختلف برای جریان‌های دوفازی با توجه به نوع ماده می‌توان ارائه داد که عبارتند از:

۱- گاز- مایع

۲- مایع- جامد

۳- جامد- گاز

آب دریا در خلال شن های ساحلی مثالی از ترکیب جامد- مایع است. سقوط قطرات باران در سقوط در بین ذرات هوا مثالی از ترکیب گاز-مایع است. وجود گرد و غبار در هوا مثالی از ترکیب گاز- جامد است. همه این مثال‌ها، نمونه‌هایی هستند که در طبیعت مشاهده می‌شوند.

۱-۳- الگوهای جریان دوفازی گاز – مایع

مهمترین علامت مشخصه جریانهای دوفازی ، وجود فصل مشترک بین فازهای گاز و مایع است. این فصل مشترک شکل‌های گوناگونی دارد. تقریباً امکان پیدایش دامنه نامحدودی از فصل مشترک-های مختلف بین دو فاز وجود دارد. اما عموماً تأثیر کشش سطحی[1] بین دو فاز منجر به پیدایش فصل مشترک‌های مختلف منحنی شکل می‌شود که نهایتاً تمامی آنها تبدیل به اشکال کروی نظیر قطرات و حباب‌ها می‌شوند.

در حالت کلی، با طبقه بندی انواع حالات توزیع فصل مشترک بین دو فاز گاز و مایع که اصطلاحاً رژیم‌های جریان[2] یا الگوهای جریان[3] نامیده می‌شوند می‌توان به توضیح و تفسیر این نوع جریان‌ها پرداخت. باید توجه داشت که این رژیم‌های جریان معمولاًبوسیله موقعیت و شکل هندسی خط لوله، جهت جریان، خواص فیزیکی و شدت جریان هریک از فازها و شار حرارتی وارد بر دیواره لوله، تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

لازم به ذکر است که علیرغم کوشش‌های بسیار زیادی که برای طبقه بندی انواع رژیم‌های جریان

[1] Surface Tension
[2] Flow Regimes
[3] Flow Patterns

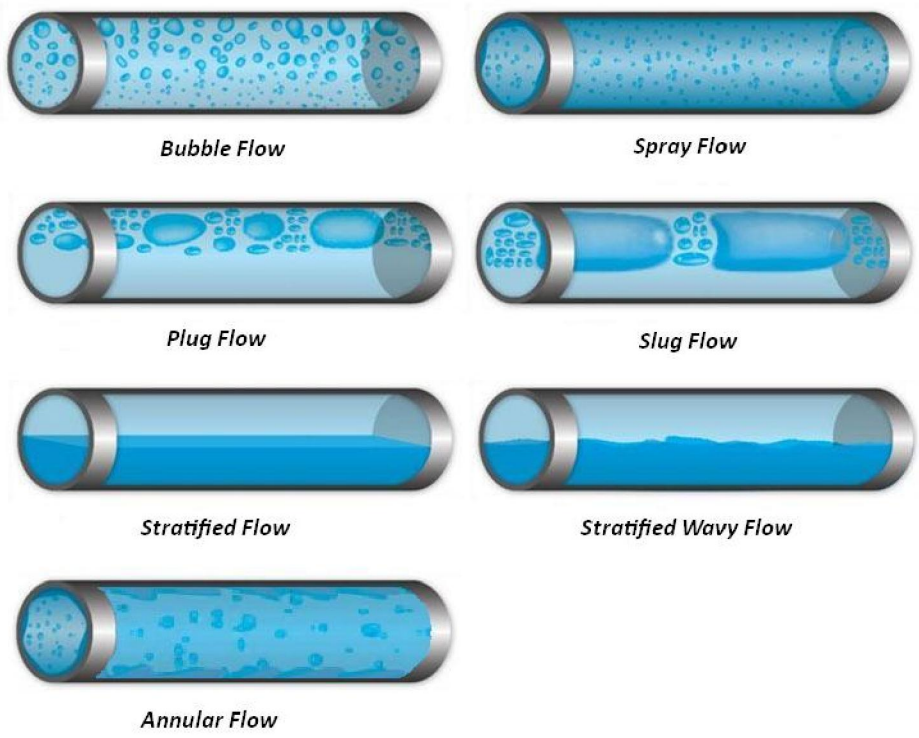
دوفازی به عمل آمده است، تمامی این روش‌ها به شدت کیفی و اغلب مطابق دیدگاه شخصی محققـان می‌باشند. به طوری که تاکنون رژیم‌های جریان متنوعی تعریف گردیده و دامنـه گسـترده‌ای از اسـامی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. تعاریفی که برای انواع رژیم جریان در این قسمت ارائـه خواهند شد، همگی مطابق با اظهار نظرات عمومی قابل قبول برای هر نوع جریان انتخاب شده‌اند.

۱-۳-۱- الگوهای جریان در لوله‌های افقی

هفت نوع الگوی توزیع برای جریان‌های دوفازی در خط لوله افقی وجود دارد. این الگوهای جریان در شکل(۱-۱) ارائه شده‌اند:

۱- جریان حبابی[1]: در خطوط لوله افقی، در مواردی که دبی حجمی گاز نسبتاً کم و دبـی حجمـی مایع نسبتاً زیاد باشد، جریان حبابی بصورت حباب‌هـای گـاز تحـت تـأثیر اخـتلاف چگـالی در قسمت فوقانی لوله ظاهر می شود و با افزایش دبی حجمی فاز گاز، اندازه حباب‌هـا بـه تـدریج بزرگتر می‌شود.

[1] Bubble Flow



شکل ۱-۱. انواع الگوهای جریان در لوله‌های افقی

[http://www.drbratland.com/PipeFlow2/chapter1.html]

۲- جریان توپی یا قالبی[1]: با افزایش سرعت فاز گاز در جریان حبابی، تعداد حباب‌های فاز گاز افزایش می‌یابد به طوری که از برخورد و به هم پیوستن آنها، حباب‌های بزرگ توپی شکل نزدیک به جداره بالایی لوله تشکیل خواهند شد . این نوع جریان جریان توپی یا قالبی نامیده می‌شود.

۳- جریان لایه‌ای[2] : در این نوع الگوی توزیع، فازهای مایع و گاز کاملاً از هم جدا بوده و فاز گاز

[1] Plug(Piston) Flow
[2] Stratified Flow

که عموماً دارای سرعت بیشتری نسبت به فاز مایع است، در قسمت فوقانی و مایع در ناحیه پایین درون خط لوله حرکت می‌کنند. همچنین تداخل بین دو فاز به ندرت صورت می‌گیرد و فصل مشترک بین آنها نسبتاً صاف و منظم می‌باشد.

۴- جریان موجی[1] : در جریان لایه‌ای اگر سرعت گاز افزایش یابد، امواجی در فصل مشترک دو فاز گاز و مایع ایجاد می‌شود که این امواج در طول جریان حرکت می‌کنند. در این حالت الگوی جریان، الگوی موجی نامیده می‌شود.

۵- جریان لخته‌ای (اسلاگ)[2] : در خطوط لوله افقی و مواردی که دبی جریان مایع زیاد باشد، افزایش سرعت گاز منجر به افزایش دامنه موج‌های سطحی مایع در فصل مشترک گاز و مایع می‌شود که در ضمن آن موجها به جداره فوقانی لوله برخورد کرده و لخته‌های مایع تشکیل می‌شود. لخته‌های مایع در چنین حالتی می‌توانند باعث لرزش‌های شدید و در برخی موارد، ایجاد خطر در درون تجهیزات واقع در مسیر خط لوله و مراکز جمع‌آوری گردند. از ویژگی‌های این نوع رژیم جریان می‌توان از نوسانات منظم در تغییرات فشار و مقدار مایع تجمع یافته نام برد که معیار مناسبی برای تشخیص این نوع رژیم جریان می‌باشد.

۶- جریان حلقوی[3] : در این نوع جریان، دوفاز گاز و مایع بصورت دو استوانه متداخل (معمولاً مایع بر روی جداره داخلی لوله و گاز در مرکز لوله می‌باشد) درون لوله جاری می‌باشند. بررسی دقیق این نوع الگوی جریان به جهت تعیین میزان خوردگی سایشی، افزایش بازدهی خط انتقال، پیش بینی مقدار مایع تجمع یافته، تعیین ضخامت فیلم مایع روی دیواره لوله و محاسبه افت فشار سیال، جهت طراحی خطوط لوله انتقال و تجهیزات انتهایی آن از اهمیت خاصی برخوردار است.

---

[1] Wavy Flow
[2] Slug Flow
[3] Annular Flow

۷- جریان قطره‌ای[1] : با افزایش دبی جریان فاز گاز در جریان حلقوی، فاز گاز فاز مـایع را بصـورت قطرات ریزی انتقال خواهد داد. در مواردی که نرخ جریان مایع نسبتاً کـم باشـد، فـاز مـایع در داخل فاز گاز بصورت ذرات بسیار ریز و پراکنده تبدیل شده و اصطلاحاً فضایی شبیه مه بوجود می‌آید که در این حالت رژیم جریان را مه‌آلود[2] می‌نامند. بعضی از خطوط لوله انتقال سیسـتم-های گاز میعانی در موارد خاصی در این نوع الگوی جریان قرار دارند.

لازم بذکر است که سه نوع الگوی اصلی جریان را برای جریان‌های افقی بصورت زیر پیشنهاد شـده-اند:

۱- جریان مجزا[3]

۲- جریان متناوب[4]

۳- جریان توزیع شده[5]

بر اساس این تعریف، الگوی جریان مجزا وقتی شکل خواهد گرفت که فازهای گاز و مایع در امتداد محور جریان، پیوسته باشند . ایشان الگوهای جریان لایه‌ای، موجی و حلقوی را جزء این دسته منظـور نموده‌اند. وقتی دو فاز مایع و گاز بصورت بسته‌های متناوب جاری شوند، الگوی جریان متناوب بوجـود خواهد آمد. رژیم‌های جریان توپی و جریان لخته‌ای در این دسته‌بندی واقع خواهنـد شـد. زمـانی کـه یکی از فازهای مایع یا گاز به طور پیوسته و نسبی در دو امتداد موازی و عمود بـر محـور لولـه جریـان یابد، الگوی جریان توزیع شده بوجود خواهد آمد که جریان‌های حبابی و مـه‌آلـود در ایـن دسـته قـرار می‌گیرند.

این سه نوع الگوی اصلی جریان می‌توانند نمایشگر تمام الگوهای فرعی دیگر باشند بـه طـوری کـه

[1] Mist (Spray) Flow
[2] Froth Flow
[3] Segregated Flow
[4] Intermittent Flow
[5] Distributed Flow

تحلیل موقعیت‌های فیزیکی هر الگوی جریان به کمک دسته‌بندی فوق، آسان‌تر خواهد بود.

۱-۳-۲- الگوهای جریان در لوله‌های قائم

در خطوط لوله قائم نیز الگوهایی ظاهر می‌شوند که تفاوت چندانی با الگوهای جریان در خطوط لوله افقی ندارند. الگوی توزیع فازها در این خطوط لوله بصورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. جریان حبابی : در این نوع رژیم جریان، فاز مایع بصورت پیوسته و فاز گاز بصورت پراکنده (حباب-های ریز) درون مایع به طرف بالا حرکت می‌کند. سرعت فازها در این نوع جریان به دلیل اختلاف در جرم ویژه فازها، متفاوت می‌باشد.

۲. جریان لخته‌ای: در جریان حبابی با افزایش سرعت گاز، تعداد حباب ها افزایش یافته و از برخورد و به هم پیوستن آنها به یکدیگر چند گنبد چتری شکل گازی به وجود می‌آید که در قسمت‌هایی از لوله، تمام سطح مقطع لوله را اشغال می‌کنند. در عمل این نوع جریان بصورت منقطع از فازهای مایع و گاز، دارای افت فشار زیاد و همچنین از نظر فرایندی با ایجاد صداهای ناهنجار و آسیب‌دیدگی تجهیزات همراه است. در طراحی خطوط لوله جریان دوفازی، سعی می‌شود حدالامکان از ایجاد چنین رژیم جریانی اجتناب شود.

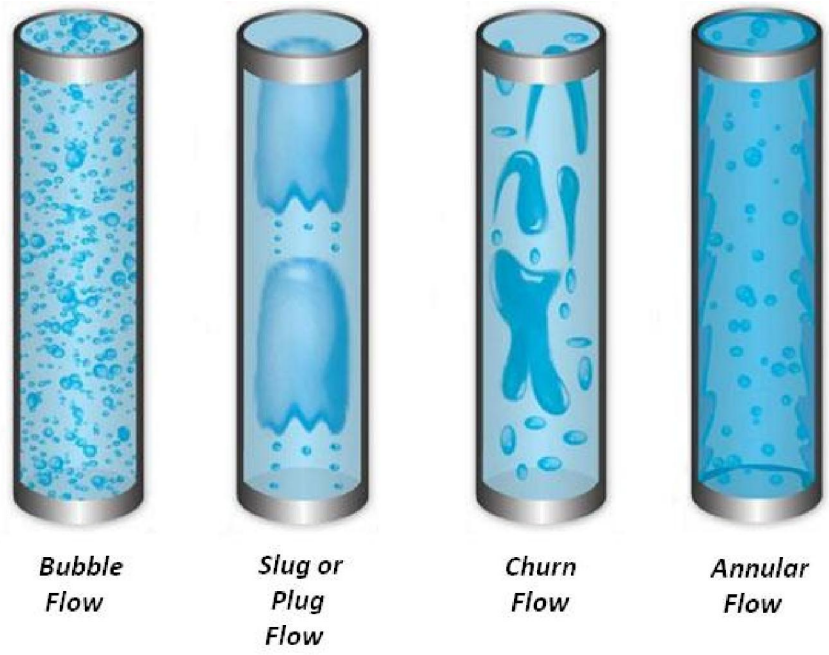
۳. جریان کف‌آلود یا انتقالی[1]: در جریان لخته‌ای با افزایش سرعت جریان، توده‌های گاز شکسته شده و جریان ناپایدار و انتقالی بین دو جریان لخته‌ای و حلقوی، شکل خواهد گرفت و در خطوط لوله جریان با قطر زیاد، حرکت نوسانی مایع به سمت بالا و پایین رخ خواهد داد، در حالی که در لوله‌های باریک، این حرکت نوسانی به وقوع نخواهد پیوست و

[1] Churn (Transition) Flow

حرکت انتقالی بین دو نوع جریان لخته‌ای و حلقوی بسیار سریع و گذرا خواهد بود.

۴. جریان حلقوی: در این نوع الگوی جریان، معمولاً فاز گاز در مرکز لوله حرکت می‌کند و فاز مایع روی دیواره لوله به شکل لایه نازکی جریان می‌یابد.

۵. جریان قطره‌ای[1]: در این نوع الگوی جریان، فاز گاز بصورت پیوسته و فاز مایع بصورت ذرات ریز به همراه آن در حال حرکت است، به طوری که فازگاز ، فاز مایع را بصورت قطرات ریز انتقال می‌دهد. در این حالت تغییرات فشار مایع توسط فاز گاز کنترل می‌شود.



شکل ۱-۲. انواع الگوهای جریان در لوله‌های قائم

[http://www.drbratland.com/PipeFlow2/chapter1.html]

در خطوط لوله قائم جریان‌های غیر همسو از دو فاز مشاهده می‌شود. اشکال مختلف جریان

[1] Mist Flow