دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه تبدیل انرژی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

شبیه‌سازی عددی سه بعدی جریان‌های دو فازی گاز- مایع در اتصال T شکل

سحر رفیعی اصل

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا انصاری

دی ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم سحر رفیعی اصل پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان شبیه سازی سه بعدی عددی جریان های دوفازی گاز-مایع در اتصال T شکل** در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۹ 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 هادی پاسدارشهری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد مهدی هیهات	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر هادی پاسدارشهری	استادیار	

« 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 و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، 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 ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ 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 سحر رفیعی‌اصل دانشجوی دوره روزانه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی ورودی سال ۱۳۹۱ متعهد می‌شوم 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»

نام و نام خانوادگی: سحر رفیعی‌اصل

امضا

تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۹

«آیین نامه چاپ پایان‌نامه رساله‌های دانشجویان دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس»

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (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 نگارنده در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمدرضا انصاری دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) 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 سحر رفیعی‌اصل دانشجوی دوره روزانه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: سحر رفیعی‌اصل

امضا Sadiei

تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۹

تقدیم به

پدر و مادرم،

که از نگاهشان صلابت،

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی آموختم.

تشکر و قدردانی

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه خود جناب آقای دکتر محمدرضا انصاری، که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از پدر و مادر عزیزم، به خاطر همه تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران مختلف زندگی‌ام انجام داده‌اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته‌اند، قدردانی می‌کنم.

چکیده

در تحقیق حاضر با شبیه‌سازی عددی جریان دو فازی با استفاده از نرم‌افزار متن‌باز اوپن‌فوم، به تأثیر استفاده از تقاطع T شکل منشعب، بر رفتار جریان‌های دو فازی گاز- مایع در کانال مستطیلی شکل افقی پرداخته شده است. جریان مورد مطالعه آرام و سیال گازی بصورت تراکم‌پذیر فرض شده است. روش عددی بکار گرفته شده، از روش حجم محدود استفاده می‌کند که با استفاده از الگوریتم پیزو، معادلات ناویر- استوکس حل شده و میدان سرعت و فشار بدست می‌آید. مدل تعقیب سطح مشترک بکار رفته در این نرم‌افزار مدل حجم سیال (VOF) می‌باشد.

به دلیل اینکه رژیم جریان اسلاگ یکی از پیچیده‌ترین الگوهای جریان دو فازی است که به واسطه طبیعت آشفته و متناوب خود، ممکن است صدمات شدیدی در تجهیزات موجود در پایین‌دست بوجود آورد، تمرکز اصلی در پژوهش حاضر بر الگوی جریان مذکور برای از بین بردن یا کاهش آن، با استفاده از اتصال T شکل می‌باشد. بدین منظور محدوده سرعت تشکیل اسلاگ قبل از تقاطع بدست آورده شده و نقشه الگوی جریان دو فازی در اتصال T شکل و تأثیر پارامترها در الگوهای جریان مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با بررسی منحنی‌های مربوط به فشار برای کانال افقی بدون اتصال و مقایسه آن با حالت کانال اتصال T شکل، کاهش الگوی جریان اسلاگ در اتصال T شکل بصورت کاملاً واضح مشاهده شده است. همچنین استنتاج شده است که با افزایش سطح مقطع شاخه عمودی اتصال T شکل، اثر میراکنندگی تقاطع بر الگوی جریان اسلاگ افزایش یافته و این الگو در پایین‌دست عمدتاً بصورت جریان توپی تغییر می‌کند.

کلمات کلیدی: جریان دو فازی گاز- مایع، اتصال T شکل، جریان اسلاگ، روش حجم سیال، نرم‌افزار اوپن‌فوم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده ..... ح

فهرست مطالب ..... ط

فهرست علائم و نشانه‌ها ..... ل

فهرست جدول‌ها ..... م

فهرست شکل‌ها ..... ن

فصل ۱: تعاریف و مفاهیم جریان چند فازی .....

۱-۱- جریان‌های چند فازی ۱

۱-۲- مفاهیم اولیه جریان‌های دو فازی ۲

۱-۳- الگوهای جریان دو فازی ۳

۱-۳-۱- الگوهای جریان دو فازی در کانال افقی _____ ۴

۱-۳-۲- الگوهای جریان دو فازی در کانال عمودی _____ ۶

۱-۴- نقشه الگوهای جریان ۸

۱-۵- جداکننده‌های جریان دو فازی ۹

۱-۶- اتصال T شکل ۱۰

۱-۶-۱- متغیرهای مربوط به اتصال T شکل _____ ۱۱

۱-۶-۲- نیروهای حاکم بر اتصال T شکل _____ ۱۲

۱-۷- کاربرد اتصال T شکل در جریان دو فازی ۱۳

فصل ۲: مروری بر پیشینه پژوهش .....

۲-۱- توزیع جریان در اتصالات T شکل ۱۵

۲-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر الگوهای جریان ورودی در جداسازی فازها در اتصال T شکل ۱۷

۲-۳- بررسی الگوی جریان اسلاگ در اتصال T شکل ۲۰

۲-۴- بررسی تأثیر تغییر قطر بازو بر جدایش جریان ۲۴

۲-۵- تأثیر فیزیک اتصال T شکل بر جدایش جریان ۲۷

۲-۶- اهداف تحقیق ۲۹

فصل ۳: روش عددی و معادلات حاکم .....

۳-۱- مدل‌سازی سطح مشترک بین دو سیال ۳۳

۳-۲- تئوری VOF ۳۶

۳-۲-۱- روش بادپادسو مرتبه یک _____ ۳۷

۳-۲-۲- روش دهنده- گیرنده _____ ۳۸

۳-۲-۳- روش SLIC _____ ۳۸

۳-۲-۴- روش PLIC _____ ۳۹

۳-۳- نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی اوپن‌فوم ۴۰

۳-۴- روند حل ۴۲

۳-۴-۱- معادلات حاکم _____ ۴۳

۳-۵- جمع‌بندی ۴۶

فصل ۴: نتایج شبیه‌سازی عددی .....

۴-۱- شبیه‌سازی رژیم‌های جریان دو فازی گاز- مایع در اتصال T شکل ۴۹

۴-۱-۱- توصیف مسئله، شرایط مرزی و اولیه _____ ۴۹

۴-۱-۲- استقلال حل از شبکه _____ ۵۰
۴-۱-۳- اعتباربخشی _____ ۵۲
۴-۲- اندازه طولی اسلاگ ۵۵
۴-۳- تاریخچه تشکیل جریان اسلاگ در اتصال T شکل ۵۹
۴-۴- نقشه الگوی جریان دو فازی در اتصال T شکل ۶۲
۴-۴-۱- محدوده تشکیل اسلاگ در اتصال T شکل _____ ۶۳
۴-۴-۲- نقشه الگوی جریان در شاخه‌های جانبی اتصال T شکل _____ ۶۴
۴-۵- بررسی کاهش الگوی جریان اسلاگ در اتصال T شکل ۶۷
۴-۶- جمع‌بندی ۷۸
فصل ۵: جمع‌بندی و پیشنهادات.....
۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۸۰
۵-۲- پیشنهادات ۸۲
مراجع ۸۳

فهرست علائم و نشانه‌ها

مساحت سطح مقطع	A
فاکتور تراکم	C_a
شتاب گرانشی	g
طول اسلاگ	L_s
فشار	P
دبی حجمی جریان	Q
ثابت عمومی گازها	R
لغزش	S
دما	T
زمان	t
سرعت توده سیال	U
بردار سرعت	u
سرعت معادل تراکم سطح مشترک	U_c
سرعت جریان دو فازی	U_m
سرعت لغزش	U_s
سرعت ظاهری فاز مایع	U_{sl}
سرعت ظاهری فاز گازی	U_{sg}
دبی جرمی جریان	W
تابع نشانگر فاز	X
کیفیت گاز نسبت به دبی کل	x

پایین نویس

گاز	g
ورودی کانال	i
مایع	l
خروجی شاخه افقی	O_2
خروجی شاخه عمودی	O_3

علائم یونانی

کسر حجمی	α
انحنای سطح مشترک	κ
ویسکوزیته دینامیکی	μ
چگالی	ρ
کشش سطحی	σ
تابع فاصله	φ

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول صفحه

جدول (۱-۱) متغیرهای جریان دو فازی---------- ۲

جدول (۴-۱) سرعت‌های ظاهری ورودی فاز مایع و فاز گازی ----------۵۵

جدول (۴-۲) شرایط انتخابی جهت بررسی جریان اسلاگ ----------۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل صفحه

شکل (۱-۱) الگوهای جریان دو فازی در کانال افقی [۳] ----------۵
شکل (۱-۲) الگوهای جریان دو فازی در کانال عمودی [۳] ----------۷
شکل (۱-۳) نقشه جریان افقی دو فازی مندهین و همکاران [۶]----------۹
شکل (۱-۴) اتصال T شکل تقسیم‌کننده [۱۰] ---------- ۱۱
شکل (۲-۱) طرحواره سیستم جداکننده دینامیکی [۳۵] ---------- ۱۸
شکل (۲-۲) توزیع فازی (الف) نتایج شبیه‌سازی عددی، (ب) داده‌های آزمایشگاهی [۴۰]---------- ۲۰
شکل (۲-۳) طرحواره سه ناحیه اصلی در جریان اسلاگ[۴۶] ---------- ۲۱
شکل (۲-۴) طرحواره اتصال T شکل برای نوشتن معادلات بقا [۵۰] ---------- ۲۲
شکل (۲-۵) تأثیر نسبت تغییر قطر در جدایش فازها [۵۶] ---------- ۲۴
شکل (۲-۶) منحنی‌های افت فشار در گذر از تقاطع T شکل سازگار و ناسازگار در مقابل نسبت جدایش [۶۱] ---------- ۲۶
شکل (۲-۷) حالات مختلف جهت‌گیری بافل درون اتصال T شکل [۶۲] ---------- ۲۸
شکل (۲-۸) تأثیر جهت‌گیری بافل بر توزیع جریان در اتصال T شکل [۶۲] ---------- ۲۸
شکل (۳-۱) طرحواره روش ردیابی پیشانی [۶۶] ---------- ۳۴
شکل (۳-۲) طرحواره روش حجم سیال [۶۶] ---------- ۳۵
شکل (۳-۳) مقایسه بین روشهای سطح هم‌تراز و حجم سیال [۶۸]---------- ۳۶
شکل (۳-۴) مقایسه طرحواره روش دهنده- گیرنده با حالت واقعی سطح مشترک (الف) سطح مشترک واقعی، (ب) سطح مشترک بازسازی شده با روش دهنده- گیرنده [۶۹] ---------- ۳۸
شکل (۳-۵) مقایسه طرحواره روش SLIC با حالت واقعی سطح مشترک (الف) سطح مشترک واقعی، (ب) بازسازی سطح مشترک بصورت خطوط افقی با روش SLIC، (ب) بازسازی سطح مشترک بصورت خطوط عمودی با روش SLIC [۶۹] ---------- ۳۹
شکل (۳-۶) مقایسه طرحواره روش PLIC با حالت واقعی سطح مشترک (الف) سطح مشترک واقعی، (ب) سطح مشترک بازسازی شده با روش PLIC [۶۹] ---------- ۳۹

شکل (۳-۷) طرحوارهٔ سطح مشترک در حالت واقعی و روش‌های بازسازی هندسی SLIC و PLIC، (الف) سطح مشترک بازسازی شده با روش PLIC، (ب) سطح مشترک واقعی، (ج) سطح مشترک بازسازی شده با روش SLIC [۶۹] ---------- ۴۰
شکل (۴-۱) هندسهٔ طرحوارهمساله ---------- ۴۹
شکل (۴-۲) بررسی استقلال حل از شبکه در راستای ارتفاع کانال (از بالا با پایین ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ شبکه در راستای ارتفاع کانال) ---------- ۵۱
شکل (۴-۳) بررسی استقلال حل از شبکه در راستای طول کانال (از بالا به پایین: ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۱۲۰۰ شبکه در راستای طول کانال) ---------- ۵۱
شکل (۴-۴) محل اسلاگ نسبت به زمان برای شبکه‌های مختلف در اتصال T شکل به ابعاد سطح مقطع cm^2 ۵×۱۰، طول شاخه افقی ۵ متر و طول شاخه جانبی ۱ متر ---------- ۵۲
شکل (۴-۵) نقشه الگوی جریان مندهین و همکاران [۶] و نقاط مورد شبیه‌سازی (۱.رژیم جریان لایه‌ای ۲.رژیم جریان اسلاگ ۳.رژیم جریان حلقوی) ---------- ۵۳
شکل (۴-۶) نتایج عددی الگوهای جریان مختلف (از بالا به پایین: لایه‌ای، اسلاگ و حلقوی) ---------- ۵۴
شکل (۴-۷) مقایسه نتایج عددی کار حاضر (الف) با نتایج سندرا و همکاران (ب) [۷۳] و طرحواره رژیم‌ها (ج) [۳] ---------- ۵۴
شکل (۴-۸) پروفایل کسر حجمی همراه با بردارهای سرعت گاز و مایع در رژیم اسلاگ ---------- ۵۵
شکل (۴-۹) زمان تشکیل اسلاگ برای کسر حجمی‌های مختلف در دو سرعت فازی مختلف ---------- ۵۶
شکل (۴-۱۰) مکان تشکیل اسلاگ نسبت به کسر حجمی فاز گازی در دو سرعت فازی مختلف --------- ۵۶
شکل (۴-۱۱) محل تشکیل اسلاگ بر حسب سرعت‌های ظاهری فاز گازی مختلف و سرعت ظاهری فاز مایع ثابت (m/s) ۰/۱۲۵ در کسر حجمی گازی مختلف ---------- ۵۷
شکل (۴-۱۲) طول اسلاگ بی بعد شده نسبت به سرعت ظاهری فاز گازی و مقایسه آن با نتایج مرجع [۷۴] (سرعت ظاهری فاز مایع (m/s): ▲ ۰/۵؛ ♦ ۰/۷؛ ● ۱) ---------- ۵۸
شکل (۴-۱۳) طول اسلاگ بی بعد شده نسبت به کسر حجمی فاز گازی برای دو زمان مختلف پس از تشکیل اسلاگ ---------- ۵۹
شکل (۴-۱۴) شبیه‌سازی و طرحواره شکل‌گیری سه جریان اصلی در جریان اسلاگ ---------- ۶۰
شکل (۴-۱۵) روند شکل‌گیری و رشد رژیم جریان اسلاگ در شبیه‌سازی حاضر (بترتیب از بالا به پایین: الف، ب، پ، ت، ث، ج، چ، ح، خ، د) ---------- ۶۱
شکل (۴-۱۶) مکان ابتدا و انتهای اسلاگ ---------- ۶۲

شکل (۴-۱۷) محدوده سرعت تشکیل اسلاگ (دایره‌های قرمز رنگ) قبل از تقاطع برای اتصال T شکل با توجه به نقشه الگوی جریان مندهین و همکاران [۶] ---------- ۶۴
شکل (۴-۱۸) نقشه الگوی جریان بعد از اتصال در محدوده سرعت تشکیل اسلاگ (نقطه قرمز محل بررسی جریان دو فازی را نشان می‌دهد) ---------- ۶۵
شکل (۴-۱۹) نقشه الگوی جریان بعد از اتصال در محدوده سرعت تشکیل اسلاگ (نقطه قرمز محل بررسی جریان دو فازی را نشان می‌دهد) ---------- ۶۵
شکل (۴-۲۰) تأثیر تغییر ابعاد سطح مقطع (cm^2) ورودی شاخه جانبی عمودی بر الگوهای جریان بالادست (نقطه قرمز محل بررسی جریان دو فازی را نشان می‌دهد) ---------- ۶۶
شکل (۴-۲۱) تأثیر تغییر ابعاد سطح مقطع (cm^2) ورودی شاخه جانبی عمودی بر الگوهای جریان بالادست (نقطه قرمز محل بررسی جریان دو فازی را نشان می‌دهد) ---------- ۶۶
شکل (۴-۲۲) منحنی افت فشار در گذر از تقاطع T شکل سازگار و ناسازگار در مقابل نسبت جدایش [۶۱] ---------- ۶۷
شکل (۴-۲۳) مقایسه افت فشار (ΔP_{12}) نتایج شبیه‌سازی حاضر و کارهای آزمایشگاهی انجام شده توسط والتر و همکاران [۶۱] برای نسبت قطرهای (D۳/D۱)---------- ۶۸
شکل (۴-۲۴) مکان نقاط انتخابی بر روی نقشه جریان مندهین و همکاران [۶] ---------- ۶۹
شکل (۴-۲۵) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۱ (قبل از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و تقاطع T شکل با ابعاد چهارگانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، cm^2 ۵ ×۲۰، cm^2 ۵ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۱ ---------- ۷۱
شکل (۴-۲۶) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۲ (بعد از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و با تقاطع با ابعاد چهار گانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، cm^2 ۵ ×۲۰، cm^2 ۵ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۱ ---------- ۷۱
شکل (۴-۲۷) متوسط فشار جریان در امتداد کانال با تغییر ابعاد سطح مقطع شاخه جانبی و شرایط انتخابی v۱، v۲ و v۳ ---------- ۷۲
شکل (۴-۲۸) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۱ (قبل از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و با تقاطع با ابعاد چهار گانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، cm^2 ۵ ×۲۰، cm^2 ۵ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۲ ---------- ۷۳
شکل (۴-۲۹) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۲ (بعد از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و با تقاطع با ابعاد چهار گانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، cm^2 ۵ ×۲۰، cm^2 ۵ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۲ ---------- ۷۵

شکل (۴-۳۰) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۱ (قبل از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و با تقاطع با ابعاد چهار گانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، cm^2 ۵ ×۲۰، cm^2 ۵ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۳ ---------- ۷۴

شکل (۴-۳۱) مقایسه منحنی فشار برای مکان انتخابی P۲ (بعد از تقاطع) در حالت بدون تقاطع و با تقاطع با ابعاد چهار گانه ورودی شاخه عمودی cm^2 ۵ × ۵، cm^2 ۵ ×۱۰، $5cm^2$×۲۰، $5cm^2$ ×۳۰ در شرایط انتخابی v۳ ---------- ۷۵

شکل (۴-۳۲) منحنی‌های متوسط سرعت جریان بر حسب زمان برای سه سطح مقطع شاخه عمودی (cm^2 ۵×۵، $5cm^2$×۱۰ و $5cm^2$ ×۲۰) در موقعیت قبل از تقاطع---------- ۷۶

شکل (۴-۳۳) منحنی‌های متوسط سرعت جریان بر حسب زمان برای سه سطح مقطع شاخه عمودی (cm^2 ۵×۵ ، cm^2 ۵×۱۰ و $5cm^2$×۲۰) در موقعیت بعد از تقاطع ---------- ۷۶

شکل (۴-۳۴) منحنی‌های سرعت جریان بر حسب زمان برای شرط انتخابی v۲ برای مکان‌های مختلف قبل و بعد از تقاطع با ابعاد $5cm^2$×۱۰ برای سطح مقطع شاخه عمودی ---------- ۷۷

فصل ۱:

تعاریف و مفاهیم جریان چند فازی

پایان‌نامه حاضر متمرکز بر رفتار جریان‌های دو فازی است، که بطور همزمان در یک مسیر داخل لوله یا کانال جریان دارند. تحقیقات پیرامون جریان‌های دو فازی و چند فازی در زمینه‌های مختلف از قبیل ریاضیات، فیزیک و زمینه‌های مهندسی مانند مهندسی مکانیک، هسته‌ای، شیمی و عمران انجام می‌شود. امروزه با توسعه صنعت نفت و گاز، برای بهره‌برداری از مخازن زیر دریا، مطالعه تکنولوژی حمل و نقل این مخلوط نقش بسزایی پیدا کرده است. تاکنون در انواع لوله‌های استفاده شده در تحقیقات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی، به الگوهای جریان افقی و چگونگی پیش‌بینی آن-ها توجه ویژه‌ای شده است، در حالی‌که در اکثر خطوط انتقال، لوله‌ها بصورت متقاطع می‌باشند. در این فصل ضمن معرفی جریان‌های چند فازی و مفاهیم اولیه مربوط به آن‌ها، به معرفی الگوهای جریان دو فازی و نقشه این الگوهای جریان پرداخته شده است، همچنین ساختار تقاطع T شکل و متغیرهای مربوط به تقاطع T شکل معرفی شده است.

۱-۱- جریان‌های چند فازی

بخش مهمی از مکانیک سیالات مربوط به مسائلی می‌شود که در آن‌ها یک نوع سیال در دامنه حل قرار ندارد و برای بررسی کامل مسئله نیاز به بررسی سیالات مختلف می‌باشد که به این نوع سیالات، سیالات چند فازی[۱] گفته می‌شود. در چنین جریان سیالاتی، چند سیال بطور همزمان در کنار هم در حال حرکت هستند، که غالباً دارای خاصیت فیزیکی متفاوت از قبیل دما، چگالی و رسانش می‌باشند. برای توصیف صحیح حرکت و عکس‌العمل جریان‌های چند فازی، معادلات و روابط بسیاری ارائه شده

[۱] Multi Phase Flows

است، که به دلیل ماهیت پیچیده و تعداد متغیرهای زیاد این روابط، بیشتر تمرکز بر روی جریان دو فازی گاز- مایع بوده است و تحقیقات انجام شده در این پروژه، بیشتر متمرکز بر این جریان‌ها خواهد بود.

۱-۲- مفاهیم اولیه جریان‌های دو فازی

برای مطالعه در زمینه جریان‌های دو فازی و انجام محاسبات دقیق طراحی، بیان صحیح مفاهیم و معادلات اساسی برای این جریان‌ها بسیار ضروری می‌باشد. در جدول ۱-۱ بطور مختصر این مفاهیم همراه تعریف ریاضی آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱-۱: متغیرهای جریان دو فازی

ردیف	رابطه ریاضی	تعریف	نام متغیر
۱	$W = W_l + W_g$	مجموع دبی‌های جرمی دو فاز	دبی جرمی جریان
۲	$Q = Q_l + Q_g$	مجموع دبی‌های حجمی دو فاز	دبی حجمی جریان
۳	$u_{sg} = Q_g/A$	سرعت هر فاز با فرض اینکه، بطور مستقل تمام مقطع کانال را پر کرده باشد.	سرعت ظاهری فاز
۴	$u_{sl} = Q_l/A$		
۵	$S = u_g/u_l$	نسبت سرعت واقعی فاز گاز به فاز مایع	لغزش
۶	$u_s = u_g - u_l$	اختلاف سرعت‌های واقعی دو فاز	سرعت لغزش
۷	$\alpha_g = A_g/A$	کسر فضای اشغال شده توسط فاز گاز در هر ناحیه از کانال	کسر فضای خالی

❖ توضیحات: g= *گاز*، l= مایع، A_g= سطح اشغال شده توسط فاز گازی در یک مقطع معین از کانال، A_l= سطح اشغال شده توسط فاز مایع در یک مقطع معین از کانال