بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای وحید شکری رساله ۲٤ واحدی خود را با عنوان شبیه سازی عددی جریانهای دوفازی لایه ای وکاربرد آن در رژیم اسلاگ با استفاده از مدل Well-Posed

در تاریخ ۱۳۸۹/٦/۲۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری 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 مهدی معرفت	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد حسن سعیدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمدحسن رحیمیان	دانشیار	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر کیومرث مظاهری	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید 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 ۴- 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 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 وحیدشکری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ورودی سال تحصیلی۱۳۸۴ مقطع دکتری دانشکده فنی و مهندسی 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 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: وحید شکری

تاریخ: ۱۳۸۹/۷/۲۰

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 رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد رضا انصاری 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 وحید شکری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: وحید شکری

تاریخ و امضا: ۱۳۸۹/۷/۲۰

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره دکتری مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

شبیه سازی عددی جریانهای دو فازی لایه ای و کاربرد آن در رژیم اسلاگ با استفاده از مدل Well-Posed

وحید شکری

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا انصاری

تابستان ۱۳۸۹

تقدیم به عزیزانی که ستایش ابدی از آنان را بر خود فرض می دانم

به همسر صبور و فرزانه ام فاطمه

و به پدر و مادر مهربانم

ایجانب بر خود واجب می دانم از استاد فرزانه ام جناب آقای دکتر محمد رضا انصاری سپاسگزاری کنم. راهنمایی های ارزشمند و مداوم ایشان در طول انجام این رساله راهگشای ایجانب بوده و بی شک انجام این پژوهش بدون راهنمایی دلسوزانه ایشان میسر نبود.

همچنین از همکلاسیم، جناب آقای دکتر نیما غیاثی که بحث علمی با ایشان همواره برای من سودمند بود تشکر می کنم.

چکیده:

در این رساله، فیزیک نقشه جریان دوفازی اسلاگ به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در بررسی عددی، روش‌های مختلف حل مسأله ریمن نظیر روش‌های پایستار غیرگدنفی، روش گدنفی مرتبه اوّل بادسو و روش تسخیر شوک مرتبه بالا مورد مطالعه قرا گرفتند. این روش ها بر روی مسائل استاندارد اعمال شده و روش عددی بهینه که بتواند ناپیوستگی‌ها را در میدان حل تسخیر کند، انتخاب شد. همچنین نقاط ضعف و قوت هر مدل مشخص و آنالیز گردید. بررسی های صورت گرفته نشان دادند روش محدودکننده فلاکس مرکزی (FLIC)[1] با دقت بیشتری می‌تواند ناپیوستگی‌های موجود در میدان حل را پیش‌بینی کند. همچنین مشخص گردید که مدل مستقل از فشار (PFM)[2] می‌تواند ناپیوستگی‌های موجود در میدان حل را با دقت خوبی پیش‌بینی کند امّا تأثیر تراکم‌پذیری فاز گاز را در محاسبات میدان در نظر نمی‌گیرد و مدل چهار معادله‌ای (SPM)[3] در ناحیه‌ای که ریشه‌های معادله مشخصه مدل حقیقی است قادر به پیش‌بینی درست مجهولات میدان حل می‌باشد و در صورت مختلط شدن ریشه‌های معادله مشخصه مدل، در میدان حل ناپایداری‌های غیرفیزیکی که به صورت نمایی رشد می‌کنند ایجاد می شود. سپس مدل دوسیالی پنج معادله‌ای (TPM)[4] مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های عددی نشان داد که دو مدل به جواب‌های یکسان می‌رسند ولی مدل پنج معادله‌ای نسبت به مدل چهار معادله ای مقداری سبب پخش ناپیوستگی‌ها در میدان حل می‌شود. علاوه بر ریشه‌های معادله مشخصه مدل پنج معادله‌ای دوفشاره همواره حقیقی است و دیگر در میدان حل ناپایداری‌های غیرفیزیکی مشاهده نمی‌شوند. سپس جریان اسلاگ با استفاده از روش عددی بهینه بدست آمده و مدل‌های جریان دوفازی مدل‌سازی شد. نتایج نشان دادند که یک واحد اسلاگ از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت اوّل که فصل مشترک گاز و مایع از حالت تعادل قدری به سمت پایین حرکت می‌کند. قسمت دوم که امواج فصل مشترک کوچک با طول موج کوتاه شکل می‌گیرند و در نهایت این امواج منجر به موج اسلاگ می‌شوند که یک موج بزرگ با طول موج بلند است. همچنین معلوم شد که عامل بوجود آمدن موج اسلاگ که یک موج بزرگ با طول موج بلند است، امواج فصل مشترک با طول موج کوتاه ناحیه دو می‌باشند که در اثر ناپایداری فصل مشترکی کلوین‌ـ هلمهلتز بوجود می‌آیند. نشان داده شد که طول موج این امواج فصل مشترک بر روی حد ناپایداری تأثیر دارد و با کاهش طول موج این حد کاهش می‌یابد. امّا ارتباط طول موج با حد ناپایداری کلوین‌ـ هلمهلتز در رابطه تحلیلی آن که از یک آنالیز اغتشاشات خطی بدست می‌آید لحاظ نشده است و این رابطه باید اصلاح شود.

کلمات کلیدی: جریان دوفازی، مدلسازی اسلاگ، مدل دوسیالی، رشد ناپایداری فصل مشترک

---

[1] Flux Limiter Centered Scheme
[2] Pressure Free Model
[3] Single Pressure Model
[4] Two Pressure Model

فهرست مطالب

فهرست شکل ها.....ه

فهرست نشانه ها.....ط

1- مقدمه.....1

1-1 انگیزه تحقیق حاضر.....2

1-2 مدل های جریان چندفازی.....2

1-3 مکانیزم های شکل گیری جریان اسلاگ.....4

1-4 روشهای عددی حل مدل دوسیالی.....5

1-5 روشهای مدل سازی جریان اسلاگ.....7

1-6 جمع بندی و نوآوری های کار حاضر.....9

1-7 ساختار رساله.....11

2- مدل های دو سیالی.....12

2-1 فرضیات ساده کننده.....13

2-2 مدل SPM.....14

2-3 مدل TPM.....16

2-4 مدل PFM.....19

2-5 نتیجه گیری.....20

3- آنالیز هیپربولیکی مدل های دو سیالی.....22

3-1 مقدمه.....23

3-2 آنالیز هیپربولیکی PFM.....23

3-3 آنالیز هیپربولیکی SPM.....25

3-4 آنالیز هیپربولیکی TPM.....31

3-5 نتیجه گیری.....32

4- حل عددی معادلات.....34

4-1 مقدمه.....35

4-2 فرمولاسیون و جداسازی معادلات.....35

4-2-1 فرمولاسیون کلی.....35

4-2-2 جداسازی معادلات.....36

3-4 روشهای محاسبه ترم فلاکس عددی..... 37
1-3-4 روش لاکس-فردریچز..... 37
2-3-4روش ریچمایر..... 38
3-3-4 روش HLL..... 38
4-3-4 روش روسانوو..... 39
5-3-4 روش FORCE..... 40
6-3-4 روش FLIC..... 40
4-4 روش های محاسبه ترم غیر پایستار..... 41
1-4-4 روش لاکس-فردریچز با ترم چشمه..... 42
2-4-4 روش ریچمایر با ترم چشمه..... 44
3-4-4 روش FORCE با ترم چشمه..... 45
5-4 محاسبه گام زمانی..... 46
6-4 شرایط مرزی..... 46
7-4 نتیجه گیری..... 47
5-نتایج عددی سیستم تک فاز و SPM..... 48
1-5 نتایج عددی جریان تک فاز..... 49
1-1-5 مدل برگرز غیر لزج..... 49
2-1-5 مدل آب کم عمق..... 53
3-1-5 حل لوله شوک (مساله SOD) 57
2-5 نتایج عددی جریان دو فازی-**SPM**..... 59
1-2-5 مساله شیر آب..... 60
2-2-5 مساله لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ..... 64
3-2-5 مساله لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده..... 66
4-2-5 مساله لوله شوک تامی..... 67
5-2-5 مساله جدایش آب و هوا در لوله قائم..... 69
3-5 نتیجه گیری..... 72
6- نتایج عددی جریان دو فازی با TPM و PFM..... 74
1-6 مدل TPM..... 75
1-1-6 مساله شیر آب..... 75

2-1-6 مساله لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ.....76
3-1-6 مساله لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده.....76
4-1-6 مساله جداشدن آب و هوا در لوله قائم.....77
2-6 مقایسه بین SPM و TPM2.....78
1-2-6 مساله شیر آب.....79
2-2-6 مساله جدا شدن آب و هوا در لوله قائم.....79
3-6 تاثیر پارامتر تعدیل فشار.....80
4-6 نتایج عددی جریان دوفازی – **PFM**.....82
1-4-6 مساله شیر آب.....82
2-4-6 مساله جداشدن آب و هوا در لوله قائم.....83
5-6 نتیجه گیری.....84
7- **مدل سازی جریان اسلاگ**.....85
1-7 مقدمه.....86
2-7 مدل دو سیالی.....88
1-2-7 معادلات حاکم.....88
2-2-7 روابط ساختاری.....90
3-2-7 روش حل عددی، شرایط اولیه و مرزی.....94
3-7 نتایج و بحث.....95
1-3-7 تعیین شبکه محاسباتی.....95
2-3-7 رشد امواج فصل مشترک و آغاز اسلاگ و رشد آن.....96
3-3-7 اثر طول موج امواج فصل مشترک.....99
4-3-7 اثر کسر حجمی فاز مایع.....101
4-7 نتیجه گیری.....102
8- **نتیجه گیری و پیشنهادات برای کارهای آتی**.....103
1-8 نتیجه گیری.....104
2-8 پیشنهادات برای کارهای آتی.....105
مراجع.....106
پیوست الف- مدل دوسیالی محلی لحظه ای.....112
پیوست ب- بدست آوردن معادلات PFM.....128

پیوست ج- کلیات ریاضی آنالیز هیپربولیکی.....136
واژه نامه انگلیسی به فارسی.....139
واژه نامه فارسی به انگلیسی.....140

فهرست شکل ها

شکل 1-1 : مدل واحد سلولی[10] 8

شکل 2-1 : شبکه مورد استفاده در روش ردگیری اسلاگ[37] 8

شکل 1-4 : میدان محاسباتی و سلول های مجازی..... 47

شکل 1-5 : نتایج معادله برگرز برای روش های مختلف..... 51

شکل 2-5 : نتایج معادله برگرز برای روش ریچمایر..... 52

شکل 3-5 : نتایج معادله برگرز برای روش FLIC..... 53

شکل 4-5 : ارتفاع در مدل آب کم عمق برای روش های مختلف..... 55

شکل 5-5 : سرعت در مدل آب کم عمق برای روش های مختلف..... 55

شکل 6-5 : ارتفاع در مدل آب کم عمق برای روش ریچمایر..... 56

شکل 7-5 : سرعت در مدل آب کم عمق برای روش ریچمایر..... 56

شکل 8-5 : ارتفاع در مدل آب کم عمق برای روش FLIC..... 56

شکل 9-5 : سرعت در مدل آب کم عمق برای روش FLIC..... 56

شکل 10-5 : نتایج چگالی در مساله SOD برای روش های مختلف..... 57

شکل 11-5 : نتایج سرعت در مساله SOD برای روش های مختلف..... 57

شکل 12-5 : نتایج فشار در مساله SOD برای روش های مختلف..... 57

شکل 13-5 : نتایج انرژی داخلی در مساله SOD برای روش های مختلف..... 57

شکل 14-5 : نتایج چگالی در مساله SOD برای روش ریچمایر..... 58

شکل 15-5 : نتایج سرعت در مساله SOD برای روش ریچمایر..... 58

شکل 16-5 : نتایج فشار در مساله SOD برای روش ریچمایر..... 58

شکل 17-5 : نتایج انرژی داخلی در مساله SOD برای روش ریچمایر..... 58

شکل 18-5 : نتایج چگالی در مساله SOD برای روش FLIC..... 59

شکل 19-5 : نتایج سرعت در مساله SOD برای روش FLIC..... 59

شکل 20-5 : نتایج فشار در مساله SOD برای روش FLIC..... 59

شکل 21-5 : نتایج انرژی داخلی در مساله SOD برای روش FLIC..... 59

شکل 22-5 : پروفیل بلند شذگی فاز گاز برای روش های مختلف..... 61

شکل 23-5 : پروفیل سرعت فاز مایع برای روش های مختلف..... 61

شکل 24-5 : پروفیل بلند شذگی فاز گاز برای روش ریچمایر..... 62

شکل 5-25 : پروفیل سرعت فاز مایع برای روش ریچمایر.....62
شکل 5-26 : پروفیل بلند شذگی فاز گاز برای روش FLIC.....62
شکل 5-27 : پروفیل سرعت فاز مایع برای روش FLIC.....62
شکل 5-28 : طبیعت غیر هیپربولیکی سیستم چهار معادله ای-250 سلول.....63
شکل 5-29 : طبیعت غیر هیپربولیکی سیستم چهار معادله ای-300 سلول.....63
شکل 5-30 : جوابهای مستقل از شبکه برای پروفیل بلند شذگی فاز گاز در روش FORCE.....64
شکل 5-31 : جوابهای مستقل از شبکه برای پروفیل سرعت فاز مایع در روش FORCE.....64
شکل 5-32 : جوابهای مستقل از شبکه برای پروفیل فشار در روش FORCE.....64
شکل 5-33 : جوابهای مستقل از شبکه برای پروفیل سرعت فاز گاز در روش FORCE.....64
شکل 5-34 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ.....65
شکل 5-35 : پروفیل فشار در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ.....65
شکل 5-36 : پروفیل سرعت مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ.....66
شکل 5-37 : پروفیل سرعت گاز در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ.....66
شکل 5-38 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده.....67
شکل 5-39 : پروفیل فشار در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده.....67
شکل 5-40 : پروفیل سرعت مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده.....67
شکل 5-41 : پروفیل سرعت گاز در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده.....67
شکل 5-42 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در لوله شوک تامی.....68
شکل 5-43 : پروفیل فشار در لوله شوک تامی.....68
شکل 5-44 : پروفیل سرعت مایع در لوله شوک تامی.....69
شکل 5-45 : پروفیل سرعت گاز در لوله شوک تامی.....69
شکل 5-46 : فیزیک مساله جدایش فاز آب و هوا در لوله قائم.....71
شکل 5-47 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -0/6 ثانیه.....71
شکل 5-48 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -0/6 ثانیه.....71
شکل 5-49 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -1 ثانیه.....71
شکل 5-50 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -1 ثانیه.....71
شکل 5-51 : پروفیل فشار فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -1 ثانیه.....72
شکل 6-1 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب-TPM2.....75
شکل 6-2 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله شیر آب-TPM2.....75

شکل 6-3 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ-TPM2.....76
شکل 6-4 : پروفیل فشار در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ-TPM2.....76
شکل 6-5 : پروفیل سرعت فاز مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ-TPM2.....76
شکل 6-6 : پروفیل سرعت فاز گاز در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ-TPM2.....76
شکل 6-7 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده-TPM2.....77
شکل 6-8 : پروفیل فشار در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده-TPM2.....77
شکل 6-9 : پروفیل سرعت فاز مایع در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده-TPM2.....77
شکل 6-10 : پروفیل سرعت فاز گاز در لوله شوک با سرعت نسبی بزرگ اصلاح شده-TPM2.....77
شکل 6-11 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -TPM2-0/6 ثانیه.....78
شکل 6-12 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -TPM2-0/6 ثانیه.....78
شکل 6-13 : پروفیل کسر حجمی فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -TPM2-1 ثانیه.....78
شکل 6-14 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا -TPM2-1 ثانیه.....78
شکل 6-15 : مقایسه SPM وTPM2 در پروفیل کسر حجمی فاز گاز مساله شیر آب برای روش FLIC.....79
شکل 6-16 : مقایسه SPM وTPM2 در پروفیل کسر حجمی فاز گاز مساله شیر آب برای روش HLL.....79
شکل 6-17 : مقایسه SPM وTPM2 در پروفیل کسر حجمی فاز گاز مساله شیر آب برای روش FORCE.....79
شکل 6-18 : مقایسه SPM وTPM2 در پروفیل کسر حجمی فاز گاز مساله شیر آب برای روش Lax.....79
شکل6-19: مقایسهSPM و TPM2-پروفیل کسر حجمی فاز مایع مساله جدایش فازهای آب و هوا-HLL 80
شکل 6-20 : مقایسهSPM و TPM2-پروفیل کسر حجمی فاز مایع مساله جدایش فازهای آب و هوا-FORCE 80
شکل 6-21 : مقایسهSPM و TPM2-پروفیل کسر حجمی فاز مایع مساله جدایش فازهای آب و هوا-Lax 80
شکل 6-22 : اثر ترم تعدیل فشار بر پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب.....81
شکل 6-23 : اثر ترم تعدیل فشار بر پروفیل سرعت فاز مایع در مساله شیر آب.....81
شکل 6-24 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب برای روش FLIC.....82
شکل 6-25 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب برای روش HLL.....82
شکل 6-26 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب برای روش FORCE.....82
شکل 6-27 : پروفیل کسر حجمی فاز گاز در مساله شیر آب برای روش Lax 82
شکل 6-28 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا برای روش HLL.....83
شکل 6-29 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا برای روش FORCE.....83
شکل 6-30 : پروفیل سرعت فاز مایع در مساله جدایش فازهای آب و هوا برای روش Lax.....83
شکل 7-1 : شروع نقشه جریان اسلاگ برای شبکه های محاسباتی مختلف.....95

شکل 7-2 : نقطه آغاز اسلاگ برای شبکه های مختلف محاسباتی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی.....96
شکل 7-3 : تاریخچه زمانی رشد امواج فصل مشترک.....97
شکل 7-4 : نقطه شروع اسلاگ و سه ناحیه اصلی آن.....97
شکل 7-5 : تصویر آزمایشگاهی امواج فصل مشترک ناحیه 2 اسلاگ.....98
شکل 7-6 : پدیده پل زدن لوله و رشد اسلاگ-2 ثانیه.....98
شکل 7-7 : پدیده پل زدن لوله و رشد اسلاگ-2/5 ثانیه.....98
شکل 7-8 : فشار در جهت جریان برای اسلاگ در زمان 2/5 ثانیه.....99
شکل 7-9 : تاثیر عدد موج روی ناپایداری کلوین-هلمهلتز.....101
شکل 7-10 : تاثیر کسر حجمی فاز مایع روی ناپایداری کلوین-هلمهلتز.....102
شکل الف-1 : توپولوژی جریان دوفازی[46] 114
شکل الف -2 : متوسط گیری حجمی[46] 115
شکل الف -3 : سرعت و بردار نرمال بر فصل مشترک[46] 116
شکل الف -4 : نیروهای لزجی در فصل مشترک[46] 125
شکل ب-1 : سطح مقطع و نمای جانبی جریان لایه‌ای در لوله لایه‌ای.....129

فهرست علائم و نشانه ها

علائم

سطح مقطع کل	A	ماتریس ژاکوبی	j
سطح مقطع فاز مایع	A_l	ماتریس ضرائب مشتق زمانی	M_A
سطح مقطع فاز گاز	A_g	ماتریس ضرائب مشتق مکانی	M_B
مساحت سطح حجم کل	A_x	بردار نرمال بر فصل مشترک	$\mathbf{n}_i^{\text{int}}$
مساحت فصل مشترک	A_x^{int}	تانسور فشار	P_i
تمرکز مساحت فصل مشترک بر واحد حجم	a^{int}	فشار در فصل مشترک	p_i
سرعت صوت فاز مایع	c_l	فشار هر فاز در فصل مشترک	p_g
سرعت صوت فاز گاز	c_g	فشار فاز گاز	p_i^{int}
سرعت متوسط صوت	$\hat{c}_m$	فشار فاز گاز در فصل مشترک	p_g^{int}
قطر لوله	D	فشار فاز مایع	p_l
نیروی جسمی	$\mathbf{F}_i$	فشار مرجع هر فاز	$p_{i,0}$
متوسط کل نیروهای لزجی موثر بر فصل مشترک	$\mathbf{F}_i^V$	فشار فاز مایع در فصل مشترک	p_l^{int}
فاکتور اصطکاکی فاز گاز	f_g	بردار متغیرهای پایستار	q
فاکتور اصطکاکی فاز مایع	f_l	ترم تعدیل سرعت	r_u
فاکتور اصطکاکی در فصل مشترک	f_i	ترم تعدیل فشار	r_p
بردار فلاکس	$f(q)$	ترم چشمه	S
شتاب جاذبه	g	وتر تر شده توسط فصل مشترک	S_i
ارتفاع فاز مایع	h_l	محیط تر شده فاز گاز	S_g
تانسور قطری واحد	$\bar{I}$	وتر تر شده توسط فصل مشترک	S_I

محیط تر شده فاز مایع	S_l	اندیس حجم کلی	x
ماکزیمم مقدار سرعت مشخصه چپ رو	S_L	متغییر آنالیز اغتشاشات	e
ماکزیمم مقدار سرعت مشخصه راست رو	S_R	مقدار مشخصه سیستم	l
ماکزیمم مقدار مشخصه مدل	S^+	چگالی هر فاز	r_i
تانسور نرخ کرنش	$\overline{T_i}$	چگالی فاز مایع	r_l
زمان	t	چگالی فاز گاز	r_g
سرعت فصل مشترک	u_i	چگالی مرجع هر فاز	$r_{i,0}$
سرعت فاز مایع	u_l	ترم چشمه حجمی فصل مشترک	s_i^A
سرعت فاز گاز	u_g	ترم چشمه حجمی جرم	s_i^M
سرعت فصل مشترک	$\mathbf{u}^{\text{int}}$	ترم چشمه حجمی فصل مشترکی	$\mathbf{s}_i^j$
سرعت متوسط انتقال جرم بین دو فاز	$\mathbf{u}_i^{ex}$	وابستگی فشار بین دو فاز	s_{gl}
حجم هر فاز	V_i	تنش برشی در فصل مشترک	t_i
حجم کل دیفرانسیلی	V_x	تنش برشی فاز مایع با دیوار	t_l
بردار متغییر های اولیه	v	تنش برشی فاز گاز با دیوار	t_g
متغیر طول	x	بردار متغیر های اولیه	y
		متغیر کمیت در هر فاز	y_i

حروف یونانی

زیرنویس ها

کسر حجمی هر فاز	a_i	فاز گاز	g
کسر حجمی فاز گاز	a_g	فصل مشترک	i
کسر حجمی فاز مایع	a_l	ورودی لوله	$inlet$
شیب لوله	b	مرز سمت راست سلول	$i+1/2$
تابع توزیع فاز	g_i		

مرز سمت چپ سلول	$i-1/2$
فاز مایع	l

بالا نویس ها

تغییر فاز	ex
روش مرتبه بالا	HI
روش هارتن-لاکس-ون لیر	HLL
فصل مشترک	int
روش لاکس فردریچز	LF
روش مرتبه پائین	LO
زمان قدیم	n
زمان جدید	$n+1$
روش ریچمایر	RI
روش روسانوو	RUS
ترانهاده	T

حروف ترکیبی

روش محدود کننده فلاکس مرکزی	$FLIC$
ترم غیر پایستار روش روش	NCT
ترم فلاکس عددی	NFT
مدل مستقل از فشار	PFM
مدل تک فشاره	SPM
مدل حجم سیال	VOF

فصل اول

مقدمه