بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا

(جلوبرندگی)

بررسی عددی جریان پتانسیل ویسکوز در جریان دوفازی لایه ای افقی

سمیه احمدی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا انصاری

زمستان 1389

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم سمیه احمدی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی عددی جریان پتانسیل ویسکوز درجریان دوفازی لایه ای** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۰ 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 - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مهرداد رئیسی دهکردی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فتح اله امی	استادیار	

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 **مهندسی هوافضا - جلوبرندگی** است که در سال **۱۳۸۹** در دانشکده **فنی ومهندسی** 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 سمیه احمدی دانشجوی رشته **مهندسی هوافضا- جلوبرندگی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سمیه احمدی

تاریخ و امضا: ۸۹/۱۱/۱۰

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

مقدمه: با عنايت به سياست‌هاي پژوهشي دانشگاه در راستاي تحقق عدالت و كرامت انسانها كه لازمه شكوفايي علمي و فني است و رعايت حقوق مادي و معنوي دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضاي هيات علمي، دانشجويان، دانش آموختگان و ديگر همكاران طرح، در مورد نتايج پژوهشهاي علمي كه تحت عناوين پايان‌نامه، رساله و طرحهاي تحقيقاتي كه با هماهنگي دانشگاه انجام شده است، موارد ذيل را رعايت نمايند:

ماده ۱- حقوق مادي و معنوي پايان نامه‌ها / رساله‌هاي مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداري از آن بايد با ذكر نام دانشگاه و رعايت آيين‌نامه‌ها و دستورالعمل‌هاي مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله يا مقالات مستخرج از پايان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشريات علمي و يا ارائه در مجامع علمي بايد به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مكاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتي كه پس از دانش آموختگي بصورت تركيبي از اطلاعات جديد و نتايج حاصل از پايان‌نامه/ رساله نيز منتشر مي‌شود نيز بايد نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار كتاب حاصل از نتايج پايان نامه / رساله و تمامي طرحهاي تحقيقاتي دانشگاه بايد با مجوز كتبي صادره از طريق حوزه پژوهشي دانشگاه و بر اساس آئين نامه هاي مصوب انجام مي‌شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوين دانش فني و يا ارائه در جشنواره‌هاي ملي، منطقه‌اي و بين‌المللي كه حاصل نتايج مستخرج از پايان نامه/ رساله و تمامي طرح‌هاي تحقيقاتي دانشگاه بايد با هماهنگي استاد راهنما يا مجري طرح از طريق حوزه پژوهشي دانشگاه انجام گيرد.

ماده ٥- اين دستورالعمل در ٥ ماده و يك تبصره در تاريخ ۱۳۸٤/٤/۲٥ در شوراي پژوهشي دانشگاه به تصويب رسيده و از تاريخ تصويب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد اين دستورالعمل، از طريق مراجع قانوني قابل پيگيري مي شود.

نام و نام خانوادگي

امضاء

۸۹/۱۱/۱۰

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم.

تشکر و قدردانی:

با سپاس فراوان به پیشگاه خداوند متعال

و با تشکر و قدردانی از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدرضا انصاری که در تمامی مراحل این پایان نامه با شکیبایی یاری رسانم بودند.

چکیده

تحقیقات مختلف نشان می دهد که :روشهای زیادی برای حل عددی جریان دوفازی و ساده سازی معادلات ناویر استوکس وجود دارد ،یکی از روشهای حل برای این نوع جریان استفاده از معادلات جریان پتانسیل برای هر کدام از فازها به صورت جداگانه است :در این تحقیق حد پایداری عددی برای سیال دوفازی لایه ای در یک کانال افقی با روش جریان پتانسیل ویسکوز، نشان می دهد که :پایداری عددی از طریق شرط وان –نیومن هماهنگی قابل قبولی را با نتایج تحلیلی برقرار می سازد .در روش عددی مهم ترین نکته به دست آمده حاکی از این مطلب است که حد پایداری:هنگامی که نسبت ویسکوزیته دو سیال با چگالی دو سیال برابر باشد ، با حد پایداری دو سیال غیر ویسکوز یکسان است. برای جلوگیری از ناپایداری عددی در سیستم معادلات ،معادلات هر فاز به صورت جداگانه گسسته شده اند .و سپس سایرخواص سیال مانند کشش سطحی و فشار بین دو مرز، به معادلات مربوطه اضافه شده است .با تهیه و تدوین یک کد در برنامه فرترن ، جهت بررسی خواص مختلف جریان بر تشکیل ناپایداری کلوین هلمهولتز ، نتایج به دست آمده در این روش کاملا به ویسکوزیته دو سیال بستگی داشته که این خاصیت سیال به عنوان عامل متغیر جهت رسیدن به ناپایداری ارائه شده است : در عین اینکه رشد موج مرزی سطح مشترک و فشار مرزی بین دوفاز ،تغییرات طول موج ، چگالی ، سرعت فاز و کشش سطحی مایع بر میزان رشد اغتشاش اولیه دارای همخوانی با سایر کارهای عددی پیشین که اختلاف سرعت بین دو فاز به عنوان متغیر در نظر گرفته شده بود ،می باشد .

واژگان کلیدی: جریان دوفازی،مرز،کانال افقی،روش عددی،جریان پتانسیل ویسکوز،ناپایداریهیدرو دینامیکی .

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول مقدمه ۱

۱-۱.مقدمه ۲

فصل دوم مروری بر جریان‌های دوفازی و سایر تحقیقات انجام شده ۵

۲- ۱الگوهای جریان درلوله‌های افقی ۶

۲-۲ اصطلاحات رایج در جریان‌های دوفازی ۸

۲-۳ مدل‌های ریاضی جریان دوفازی ۱۰

۲ ۳ ۱مدلHEM ۱۰

۲-۳-۲مدلDFM ۱۰

۲-۳-۳مدلTFM ۱۱

۲-۳-۴مقایسه بین مدلها ۱۲

۲ ۴ ناپایداری کلوین هلمهولتز ۱۲

۲- ۵روابط موجود برای تعیین حد ناپایدار کلوین – هلمهولتز ۱۴

۲-۶ مروری برتحقیقات انجام شده ۱۶

۲-۶-۱ تحقیقات انجام شده توسط عیسی و کمف ۱۶

۲-۶-۲ تحقیقات انجام شده توسط رامشا و تراپ (۱۹۷۸) ۱۷

۲-۶-۳ اثر کشش سطحی بر ناپایداری ۱۸

۲-۶-۴ بررسی عددی ناپایداری در جریان‌های دوفازی..... ۱۹
۲-۶-۵ شبیه‌سازی در کد CFX..... ۱۹
۲-۶-۶ جایگاه تحقیق حاضر..... ۲۰
فصل سوم تحلیل ناپایداری کلوین-هلمهولتز در جریان پتانسیل ویسکوز..... ۲۳
۳-۱روش تحلیلی در ناپایداری کلوین- هلمهولتز..... ۲۴
۳-۲ روش تحلیلی برای جریان پتانسیل ویسکوز..... ۲۴
۳-۳روش تحلیلی برای جریان پتانسیل ویسکوز (با در نظر گرفتن کشش...)..... ۲۷
۳-۳-۱فرمولاسیون مساله..... ۲۷
۳ -۳-۲ میزان رشد و سرعت امواج..... ۳۰
۳-۳-۴ تحلیل در حالت سیال غیر ویسکوز..... ۳۱
۳-۳-۵ بی بعد کردن معادلات ۳۱
۳-۴ ویسکوزیته و نسبت دانسیته بحرانی در آنالیز جریان دو فازی پتانسیل..... ۳۳
۳-۴-۱ تاثیر ویسکوزیته مایع و کشش سطحی در میزان رشد..... ۳۴
۳-۵جمع بندی..... ۳۶
فصل چهارم حل معادله جریان پتانسیل به روش عددی..... ۳۸
۴-۱ مقدمه ۳۹
۴-۳ روش حل عددی..... ۳۹
۴-۲ تعریف هندسه و شرایط فیزیکی مسأله..... ۴۰

۵-۹ منحنی فشار در مرز مشترک دو فاز..... ۶۲

۵-۱۰ اثر طول موج اغتشاش اولیه در رشد موج..... ۶۴

۵-۱۱ تاثیر سرعت اولیه مایع در رشد موج ۶۶

۵-۱۲ شرط مرزیGalilean transformation..... ۶۸

۵-۱۳ اثر چگالی در رشد موج..... ۶۹

۵-۱۴ جمع بندی و نتیجه‌گیری..... ۷۰

۵-۱۵ پیشنهادات..... ۷۲

مراجع..... ۷۳

فهرست شکلها

عنوان.....صفحه

فصل دوم

شکل ۲-۱.هفت الگوی جریان در لوله افقی.....۶

شکل ۲-۲. شماتیک ناپایداری جریان لایه‌ای.....۱۳

شکل ۲-۳. تاثیر کشش سطحی در طول موج بحرانی [۹] ۱۹

شکل۲-۴.شرایط شبیه‌سازی ناپایداری جریان در کد CFX[۱۶].....۲۰

فصل سوم

شکل۳-۱.شرایط مرزی در کانال افقی برای جریان دو فازی [۱۹].....۲۵

شکل۳-۲. خطوط بیان کننده حالت مرز های بین جریان لایه‌ای دوفازی[۱۹].....۳۴

شکل۳-۳. منحنی خنثی برای آب و هوا ($\hat{\mu} = 0.018.$).....۳۵

شکل۳-۴: منحنی خنثی برای سیال غیر ویسکوز $\hat{\mu} = \hat{\rho}$.....۳۵

شکل۳-۵:: منحنی میزان رشد امواج وابسته به عدد موج.....۳۷

فصل چهارم

شکل۴-۱. شماتیک کانال شامل جریان دوفازی.....۴۰

شکل۴-۲. مش بندی کانال برای فازهای آب و هوا ۴۱

فصل پنجم

شکل۵-۱. تاثیرویسکوزیته در ناپایداری کلوین – هلمهولتز برای جریان هوا- آب..... ۵۲
شکل۵-۲. بررسی عدم وابستگی حل به شبکه محاسباتی..... ۵۳
شکل۵-۳. حرکت موج برای $\mu_{l=0}$..... ۵۴
شکل۵-۴. حرکت موج برای $\mu_{l=15N/S}$..... ۵۴
شکل۵-۵. حرکت موج برای $\mu_{l=25N/S}$..... ۵۵
شکل۵-۶. کانتور جریان پتانسیل برای هوابعد از ۰/۲ ثانیه..... ۵۶
شکل۵-۷. کانتور جریان پتانسیل برای آب بعد از ۰/۲ ثانیه..... ۵۷
شکل۵-۸. نمودار رشد موج برای هوا و آب وتاثیر کسر حجمی گاز..... ۵۸
شکل۵-۹. رشد موج باλ=۱m برای مقادیر مختلف کشش سطحی ۵۹
شکل۵-۱۰. رشد موج باλ =۰/۵ m برای مقادیر مختلف کشش سطحی ۵۹
شکل۵-۱۱. کانتور فشار برای آب بعداز۰/۲۰ثانیه..... ۶۰
شکل۵-۱۲. کانتور فشار برای آب بعداز۰/۴ثانیه..... ۶۱
شکل۵-۱۳. کانتور فشار برای هوابعداز۰/۲ ثانیه..... ۶۲
شکل۵-۱۵. توزیع فشار روی یک موج (کوردیبان)[۲۶]..... ۶۳
شکل۵-۱۶. توزیع فشار روی یک موج (تحقیق حاضر)..... ۶۴
شکل ۵-۱۷. رشد موج بعداز ناپایداری جریان برای طول موجهای مختلف..... ۶۵
شکل ۵-۱۸. رشد موج در حالت پایداری جریان برای طول موجهای مختلف..... ۶۶
شکل۵-۱۹. حرکت موج مرزی با سرعت مایع ۲ متر بر ثانیه برای $\mu_{l=15N/S}$..... ۶۷

شکل۵-۲۰. حرکت موج مرزی با سرعت مایع ۰/۵ متر بر ثانیه برای $\mu_{l=25N/S}$ ۶۷
شکل۵-۲۱. تغییرات سرعت مایع با زمان ۶۸
شکل۵-۲۲. تغییرات سرعت هوا با زمان ۶۹
شکل۵-۲۳. اثرات چگالی در رشد موج ۷۰

علائم اصلی

طول موج	λ
عدد موج	k
میزان رشد	σ
طول کانال	L
کسر حجمی (کسر فضای خالی)	α
اغتشاش	ε
چگالی	ρ
لزجت	μ
شتاب گرانشی	g
سرعت افقی (در امتداد کانال)	u
سرعت عمودی (عمود بر امتداد کانال)	w
فشار	P
تابع پتانسیل	φ
کشش سطحی	γ

بالا نویس

زمان قدیم	n
زمان جدید	n+1
بی بعد	^

زیر نویس

گاز	g
مایع	l
مشتق نسبت به زمان	t
شمارندهٔ سطری	i
شمارندهٔ ستونی	j
اولیه	initial
شمارنده فاز	k
مقدار حقیقی	R
مقدار موهومی	I
هوا	a

فصل اول

مقدمه

1-1 مقدمه

جریان دو فازی گاز –مایع و یا در حالت کلی، جریان‌های چند فازی، به طور چشمگیری در تکنولوژی و تجهیزات مهندسی، مانند سیستم‌های فرآیندی، سیستم‌های انتقال حرارت و به ویژه تکنولوژی هسته‌ای، اهمیت یافته است: مثال‌های صنعتی بسیاری برای جریان فازی وجود دارد مثل جریان مایع –بخار در بویلر، راکتور هسته ای، جت‌ها، پره های توربین بخار .... کاربرد دیگر این موضوع به پدیده‌های طبیعی، نیز مرتبط است.

جریانهای دو فازی برای کاربردهای هوافضایی بسیار پیچیده تر بوده چرا که مثلا در مورد جریان مایع و بخار ،تغییرات گرما و جرم در طول بخار شدن یا کندانس شدن سیال همیشه در حال وقوع است ،به عنوان مثال : انتقال سیال دوفازی بین کندانسور و اواپراتور در سیستم های LHP[1], CPL[2] نقش مهمی را در سفینه های فضایی ایفا میکند.

از آنجاییکه :فرآیند اختلاط بخار سوخت مایع ناشی از عمل تبخیر، تعیین کننده کیفیت مخلوط سوخت و اکسید کننده در محفظه احتراق است. روش جریان دو فازی جدا شده، که فاز مایع را بصورت جدا و فاز گاز را بصورت جدا بررسی می‌کند منطقی ترین روش برای توصیف فرآیندهای انتقال جرم، مومنتم و حرارت بین فازها جهت توصیف احتراق است.

هدف از این تحقیق مدل‌سازی جریان دو فازی لایه‌ای آب-هوا در یک کانال مستطیلی، برای جریان پتانسیل ویسکوز به روش عددی می‌باشد. از آنجایی‌که زمینه تحقیقاتی به صورت تحلیلی در این زمینه با معادلات پیچیده و ریشه‌های موهومی همراه است، برای درک فیزیکی بهتر مساله و دوری از ریشه‌های موهومی، مساله مورد نظر با در نظر گرفتن شرایطی، به صورت عددی و دو بعدی مدل خواهد شد.

[1] Loolp heat pipe
[2] Capillary pump loop

در روش عددی به کار رفته برای شبیه‌سازی میدان جریان دو فازی از روش پتانسیل ویسکوز استفاده شده است , که با توجه به تجزیه کردن معادلات مربوطه و تابع پتانسیل، رشد سطح مشترک بین دو فاز, سرعتهای افقی و عمودی وفشار هر کدام از فازها در هر لحظه به دست آمده است . سپس نتایج مربوطه با نتایج تحلیلی مقایسه می‌گردد. به دلیل مقایسه نتایج عددی با نتایج تحلیلی مربوطه ویسکوزیته و کشش سطحی نیز در معادلات آورده شده و می‌توان گفت تقریبا تاثیر همه خواص جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه اکثر کارهای قبلی که در زمینه مدل‌سازی عددی جریان‌های دو فازی به صورت یک بعدی بوده اند، اهمیت تحقیق حاضر به علت دو بعدی بودن بیشتر نمایان می‌شود. همچنین با توجه به نوع جریان (پتانسیل ویسکوز)، برای اولین بار ناپایداری کلوین –هلمهولتز به صورت عددی در این شرایط مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل دوم بعد از معرفی جریان‌های دو فازی وتوضیحاتی در مورد ناپایداری کلوین- هلمهولتز و تحقیقات صورت گرفته در این بخش، جایگاه این تحقیق در میان سایر تحقیقات مشخص می‌گردد.

در فصل سوم به مطالعه جریان پتانسیل ویسکوز و خواص آن به صورت تحلیلی پرداخته و سپس نوع معادلات مربوطه و بررسی این نوع جریان در رژیم‌های دو فازی و تاثیرآن در خواص مختلف جریان معرفی می‌گردد.

در فصل چهارم، به شرح مساله مورد نظر وروش عددی مربوطه وایجاد شرایط لازم جهت پایداری وان –نیومن جهت پایداری عددی برای دو فاز وشرایط مرزی به کار رفته در هر مرحله پرداخته می‌شود.

در فصل پنجم، نتایج بدست آمده از مدل‌سازی 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 و مقایسه با سایر تحقیقات پرداخته شده است.

نتایج تحقیق حاضر که برای اولین بار ناپایداری جریان دوفازی لایه‌ای را برای جریان پتانسیل ویسکوز، به صورت دو بعدی تحلیل کرده است، نشان می‌دهد که پارامترهایی مانند سرعت در جهت عمودی،کشش سطحی، وزن سیال (ناشی از شتاب گرانشی g) و لزجت در رشد و یا عدم رشد موج بسیار تأثیرگذار می‌باشند؛ در حالی که در تحقیقات یک بعدی قبل به علت محدودیت‌های مربوطه، این پارامترها در نظر گرفته نمی‌شدند. البته در برخی از تحقیقات قبلی اثر لزجت به شکل خاصی(نه به فرم تنش نرمال) در نظر گرفته شده است ولی سایر پارامترهای مذکور در جریان‌های افقی به صورت مستقیم در نظر گرفته نشده‌اند. باتوجه به این مطالب و باتوجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که نتایج این تحقیق توافق خوبی با نتایج تجربی و تحلیلی موجود داشته و نسبت به تحقیقات یک بعدی قبل فیزیکی‌تر می‌باشند.

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

- ایجاد ناپایداری کلوین –هلمهولتز در این نوع جریان شدیدا به ویسکوزیته و چگالی دو سیال بستگی دارد.
- هر چه طول موج اغتشاش اولیه بیشتر شود، حد ناپایداری کاهش می‌یابد.
- با افزایش کسرحجمی فاز مایع و یا به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع اولیهٔ فاز مایع، حد ناپایداری کاهش می‌یابد.
- با افزایش سرعت اولیه مایع، حد ناپایداری کاهش می‌یابد.
- با بالا رفتن میزان لزجت، رشد موج بیشتر خواهد بود.

- با به کارگیری معادلات در حالت دوبعدی، درک فیزیکی بهتری از شرایط توزیع فشار در کانال مورد نظر به دست آمد.

فصل دوم

مروری بر جریان‌های دوفازی و سایر تحقیقات انجام شده