بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سعید پروار پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان شبیه سازی عددی ساختار تراک گازی با استفاده از شرایط مرزی غیر انعکاسی** در تاریخ ۱۳۸۹/۲/۸ 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 کیومرث مظاهری	**دانشیار**	
استاد ناظر	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	**دانشیار**	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	**استادیار**	
استاد ناظر	دکتر ناصر سراج مهدیزاده	**دانشیار**	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فتح اله امی	**استادیار**	

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.

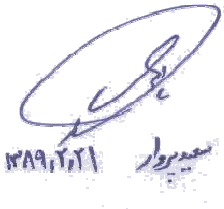
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

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 ۱۳۸۴/۴/۲۵در 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: **سعید پروار**

امضا:



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** است که در سال **۱۳۸۹** در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر کیومرث مظاهری** 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.

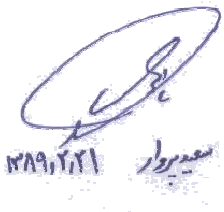
ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین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

ماده ۶: اینجانب **سعید پروار** دانشجوی رشته **مهندسی هوافضا** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **سعید پروار**

تاریخ و امضا:

۱۳۸۹/۲/۲۱



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا - آیرودینامیک

شبیه سازی عددی ساختار تراک گازی با استفاده از شرایط مرزی غیرانعکاسی

سعید پروار

استاد راهنما:

دکتر کیومرث مظاهری

اردیبهشت ۸۹

تقدیم به پدر دلسوزم

که فداکاری و سخت کوشی را به من آموخت

و مادر عزیزم

که دعای خیرش همواره بدرقه ی راهم بوده است

و دو برادرم

که همیشه حامی و پشتیبانم بوده اند

با سپاس فراوان از استاد عزیزم جناب آقای **دکتر کیومرث مظاهری** که راهنمائی های ارزشمند و دلسوزانه ایشان در طول تحصیل راهگشای اینجانب بوده و تصحیحات مکرر و با دقت ایشان بر غنای این پایان نامه بسیار افزوده است.

همچنین قدردان تمام دوستان عزیزی هستم که در طی این دوره تحصیلی همدل و همراه من بوده اند مخصوصا آقایان حسین سوری، حمیدرضا انبارلوئی، سبحان امامی، امیر منصوری، میثم بابا احمدی و یاسر محمودی. امیدوارم همیشه زیبنده ترین صفات همراه ایشان باشد.

چکیده

شبیه‌سازی عددی تراک گازی با توجه به ماهیت فیزیکی بشدت ناپایدار آن، نیازمند یک شبکه محاسباتی ریز می‌باشد. وجود نقطه صوتی (نقطه CJ) در انتهای ناحیه واکنش تراک موجب ایزوله شدن ناحیه واکنش و شوک پیشرو از اغتشاشات جریان دوردست می‌شود. با استفاده از این مفهوم و با استفاده از شرایط مرزی مصنوعی در دور دست می‌توان به برش زدن میدان محاسباتی پرداخت. استفاده از این نوع شرایط مرزی موجب بوجود آمدن یک سری امواج مجازی و در نتیجه ورود خطا در محاسبات می‌شود. برای کاهش این اثرات منفی، می‌توان از شرط مرزی غیرانعکاسی در دور دست استفاده کرد. در کار حاضر از روش مشخصه‌ها (Characteristics Method) برای اعمال شرط مرزی غیرانعکاسی استفاده شده‌است. با استفاده از مفاهیم اشاره شده، یک طول محدود به عنوان طول میدان محاسباتی برای حالتهای یک بعدی و دو بعدی تعریف شد. مقدار مناسب این طول برای چند انرژی فعال‌سازی مختلف بدست آمد. افزایش انرژی فعال‌سازی منجر به افزایش طول ناحیه واکنش می‌شود بنابراین طول متناسب برای انرژی فعال‌سازی بالاتر افزایش می‌یابد. فاصله گرفتن شوک از ابتدای میدان و افزایش تدریجی طول میدان محاسباتی منجر به افزایش یافتن زمان محاسبات هر پله زمانی می‌شود. اما با برش دادن میدان و ثابت ماندن طول میدان در طول محاسبات، زمان حل در هر پله زمانی تقریبا ثابت می‌ماند و اینکار سبب کاهش قابل ملاحظه زمان محاسبات در هر پله و در نهایت زمان کلی محاسبات می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تراک گازی - نقطه CJ - شرایط مرزی غیرانعکاسی – روش مشخصه

فهرست

عنوان **شماره صفحه**

فهرست ..... أ
فهرست نشانه‌ها ..... ج
فهرست جدولها ..... د
فهرست شکلها ..... ه
فصل ۱ : مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۲
۱-۲- تعریف مسئله ۴
۱-۳- مروری مختصری بر مطالعات گذشته ۵
۱-۴- هدف از تحقیق حاضر ۷
۱-۵- مروری بر مطالب پایان نامه ۷
فصل ۲ : معادلات حاکم و روش حل عددی ۸
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- معادلات حاکم ۹
۲-۳- روش حل عددی ۱۲
۲-۴- شرایط مرزی و اولیه ۱۳
۲-۵- استفاده از روش مشخصه برای تعریف شرایط مرزی غیرانعکاسی ۱۴
۲-۵-۱- تعریف شرایط مرزی به کمک روش مشخصه برای حالت یک بعدی ۱۵
۲-۵-۲- تعریف شرایط مرزی به کمک روش مشخصه برای حالت دو بعدی ۱۶
۲-۶- نحوه تعریف شرایط مرزی غیرانعکاسی با استفاده از روش مشخصه ۱۸
۲-۶-۱- شرایط مرزی غیرانعکاسی برای حالت یک بعدی ۱۹
۲-۷- جمع‌بندی فصل ۲۰
فصل ۳ : نتایج ۲۲
۳-۱- مقدمه ۲۳
۳-۲- بررسی تاثیر شرایط مرزی غیرانعکاسی بر شبیه‌سازی عددی مسئله لوله شوک ۲۳
۳-۲-۱- تخمین خطای ناشی از انعکاس ۲۶
۳-۳- استفاده از شرایط مرزی غیرانعکاسی در شبیه سازی یک بعدی تراک گازی ۲۹
۳-۳-۱- تحلیل خطا ۳۰
۳-۳-۲- استقلال نتایج از شبکه محاسباتی ۳۳

۳-۳-۳- تاثیر طول میدان محاسباتی بر شبیهسازی یک بعدی تراک گازی ۳۴
۳-۳-۴- روش تطبیق شبکه (AMR)..... ۳۶
۳-۳-۵- مقایسه دقت نتایج بدست آمده از روشهای برش و تطبیق شبکه ۳۸
۳-۳-۶- مقایسه کاهش زمان محاسبات در حالت یک بعدی..... ۳۹
۳-۴- استفاده از شرایط مرزی غیرانعکاسی در شبیه سازی دو بعدی تراک گازی..... ۴۱
۳-۴-۱- تشکیل و انتشار تراک در یک کانال..... ۴۲
۳-۴-۲- تاثیر انرژی فعال سازی بر ساختار سلولی منظم تراک گازی ۴۳
۳-۴-۳- تاثیر شرایط مرزی بر ساختار سلولی..... ۴۵
۳-۴-۴- تاثیر طول میدان محاسباتی بر شبیه سازی دو بعدی تراک گازی ۴۸
۳-۴-۵- مقایسه کاهش زمان محاسبات در حالت دو بعدی..... ۵۱
۳-۵- جمعبندی فصل..... ۵۳
فصل ۴ : نتیجهگیری و پیشنهادات ۵۶
۴-۱- مقدمه ۵۷
۴-۲- نتیجهگیری نهایی..... ۵۸
۴-۳- پیشنهاداتی برای ادامه کار..... ۶۰
مراجع ۶۲
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۶۴
واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۶۶
پیوست ها..... ۶۸
پیوست الف : انواع روشهای تعریف شرایط مرزی غیرانعکاسی..... ۶۸
الف-۱- روش مجانبی برای میدان دوردست..... ۶۸
الف-۲- روش ناحیه پیشگیری..... ۶۸
الف-۳- روش لایه کاملا تطابق یافته..... ۶۹
الف -۴- روش مشخصه ها..... ۷۰
پیوست ب : استخراج روابط تعریف شرایط مرزی به کمک روش مشخصه..... ۷۱
Abstract..... ۷۴

فهرست نشانه‌ها

نشانه	شرح

علائم انگلیسی

C	سرعت صوت
C_0	سرعت صوت در مخلوط نسوخته
D	سرعت انتشار تراک
d_a	خطای مطلق
D_{CJ}	سرعت انتشار تراک CJ
d_r	خطای نسبی
E	انرژی داخلی بر واحد جرم
E_a	انرژی فعال‌سازی
F	بردار شار
hrl	طول نیمه واکنش
K	پیش فاکتور ثابت آرنیوسی
L_{AMR}	طول ناحیه تطبیق
L_{Domain}	طول میدان محاسباتی
L_i	دامنه امواج مشخصه
$L_{Reaction}$	طول ناحیه واکنش
P	فشار
Q	گرمای آزاد شده از واکنش شیمیایی
R	ثابت گازها
S	ترم چشمه
T	دما
U	بردار شار
u	سرعت ذره
W	نرخ تولید محصولات طی فرآیند احتراق
$X_{Detonation}$	مسافت طی شده توسط تراک

علائم یونانی

β	کسر جرمی
ρ	چگالی
γ	نسبت گرمای ویژه
λ_i	سرعت امواج مشخصه

فهرست جدولها

جدول (۳-۱) مقایسه نتایج مطالعه حاضر با حل تحلیلی مسئله لوله‌ی شوک و نتایج مرجع [۱۹] ۲۷
جدول (۳-۲) مقایسه خطای نسبی حاصل از مطالعه حاضر با نتایج مرجع [۱۴] ۲۸
جدول (۳-۳) تخمین خطای مطلق و نسبی میانگین سرعت تراک گازی مطالعه حاضر ۳۳
جدول (۳-۴) تخمین خطای نسبی میانگین سرعت تراک گازی مطالعه حاضر ۳۵
جدول (۳-۵) تخمین خطای نسبی میانگین سرعت تراک گازی مطالعه حاضر ۳۷
جدول (۳-۶) زمان صرف شده برای اجرای برنامه ۴۰
جدول (۳-۷) تاثیر طول میدان بر ساختار سلولی تراک گازی ۴۹
جدول (۳-۸) تاثیر طول میدان بر منحنی مکان-زمان شوک پیشرو تراک گازی ۵۰
جدول (۳-۹) زمان صرف شده برای اجرای برنامه ۵۲

فهرست شکلها

شکل (۱-۱) توزیع فشار در لوله شوک در زمان ۰/۳۵- تاثیر مرز مصنوعی بر نتایج حاصله.....۵
شکل (۱-۲) موج مجازی تولید شده بر اثر اعمال شرایط مرزی گرادیان برابر صفر– بزرگنمایی مستطیل سمت راست.....۵
شکل (۲-۱) طرحواره‌ی مدل هندسی کانال.....۱۴
شکل (۲-۲) طرحواره‌ی امواج ورودی و خروجی به میدان از مرزها و دامنه متناظر هریک از آنها [۱۷]..۱۵
شکل (۲-۳) طرحواره‌ای از جهت حرکت امواج در خروجی مادون صوت.....۲۰
شکل (۳-۱) نمودار فشار لوله شوک در لحظه گذر شوک از خروجی سمت راست در زمان ۰/۳۵ [۱۴].۲۵
شکل (۳-۲) نمودار فشار لوله شوک در لحظه گذر شوک از خروجی سمت چپ در زمان ۰/۴۵[۱۴].....۲۵
شکل (۳-۳) توزیع فشار لوله شوک کمی پس از گذر شوک از مرز خروجی راست.....۲۶
شکل (۳-۴) بزرگنمایی شده مستطیل سمت راست.....۲۶
شکل (۳-۵) تعریف طول و دامنه موج نوسان.....۳۰
شکل (۳-۶) نوسانات مجازی بوجود آمده بر اثراستفاده از پروفیل بلست به عنوان شرط اولیه در شبیه‌سازی تراک پایدار.....۳۲
شکل (۳-۷) فاصله انتهای ناحیه واکنش از شوک پیشرو.....۳۵
شکل (۳-۸) افزایش زمان مورد نیاز برای حل(بر حسب ثانیه) با زمان.....۳۹
شکل (۳-۹) عرض و طول سلول تراک.....۴۳
شکل (۳-۱۰) بررسی تاثیر انرژی فعال‌سازی بر ساختار سلولی منظم تراک.....۴۴
شکل (۳-۱۱) بررسی تاثیر شرایط مرزی(عرض کانال) بر ساختار سلولی منظم تراک.....۴۵
شکل (۳-۱۲) بررسی تاثیر شرایط مرزی(عرض کانال) بر ساختار سلولی نامنظم تراک.....۴۶
شکل (۳-۱۳) بررسی تاثیر شرایط مرزی(طول میدان) بر ساختار سلولی نامنظم تراک.....۴۷
شکل (۳-۱۴) تاثیر طول میدان محاسباتی بر منحنی مکان - زمان شوک پیشرو تراک گازی.....۵۰
شکل (۳-۱۵) بزرگنمایی شده مستطیل سمت راست.....۵۰
شکل (۳-۱۶) افزایش زمان مورد نیاز برای حل(بر حسب ثانیه) با زمان.....۵۱

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

در حالت کلی یک مخلوط گازی قابل احتراق به دو گونه شعله آرام[۱] و تراک[۲] می‌تواند بسوزد[۱]. گونه اول که شعله آرام می‌باشد، همان سوختن معمولی است که در آن سرعت موج احتراقی زیر صوت است. در شعله آرام، گرمای ایجاد شده و رادیکالهای حاصل از احتراق می‌توانند به قسمت مواد نسوخته نفوذ کنند. سرعت این امواج از مرتبه متر بر ثانیه بوده و تغییر فشار قبل و بعد از موج ناچیز می‌باشد. گونه دیگر، موج تراک است که در آن سرعت موج احتراقی بسیار بیشتر از سرعت صوت و در حدود ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد. این امواج باعث افزایش ۱۵ تا ۲۰ برابری فشار مخلوط اولیه می‌گردند. بین این دو گونه حدی طیف وسیعی از امواج احتراقی وجود دارند که در آنها توربولانس نقش اساسی را دارد.

مطالعات زیادی در زمینه تراک با روشهای تجربی، تحلیلی و عددی انجام شده است. اولین نظریه در مورد تراک توسط چاپمن[۳] (۱۸۹۹) و جوگت[۴] (۱۹۰۵) ارائه شد و به تئوریCJ[۵] مشهور گردید[۱]. این تئوری موج تراک را یک بعدی، پایا و با ضخامت ناچیز فرض نموده و به ساختار خود موج تراک و پارامترهای مربوط به آن نیاز ندارد. تئوریCJ فقط به محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی و در حال

---

[1]- *Laminar Deflagration*
[2] -*Detonation*
[3] -*Chapman*
[4] -*Jouguet*
[5] - *Chapman - Jouguet*

تعادل تراک می‌پردازد. خواص محاسبه شده با این تئوری به خواصCJ یا پارامترهای ترمودینامیکی تراک مشهور می‌باشند. طبق این تئوری جریان در پائین دست موج نسبت به موج ضربه‌ای صوتی بوده و موج تراک با سرعت ثابتCJ حرکت می‌کند.

بعد از تئوریCJ، تئوریهایی همچونZND[۱]، WK[۲] و DSD[۳] معرفی شد اما تئوریهای ذکر شده از جامعیت لازم برخوردار نبودند. مشاهدات تجربی نیز حاکی از آن بود که ساختار تراک سه بعدی و پیچیده می‌باشد و از آنجایی که به کمک روشهای تجربی همه اهداف پژوهشی محققان تامین نمی‌شد بنابراین محققان بسیاری به شبیه‌سازی عددی تراک روی آوردند که از جمله آنها می‌توان به مطالعات [۴-۸] اشاره کرد.

شبیه‌سازی عددی تراک گازی با توجه به ماهیت فیزیکی بشدت ناپایدار آن نیازمند یک شبکه محاسباتی ریز می‌باشد. این امر سبب می‌شود که محققین برای شبیه‌سازی، همواره با حجم بسیار زیاد محاسبات روبرو شوند. با افزایش ابعاد محاسباتی از یک به دو و یا سه بعد، حجم محاسبات به صورت نمایی افزایش می‌یابد که این امر نیز بر مشکلات پیشین می‌افزاید. بنابراین محققین همواره سعی داشته‌اند که با ارائه راهکارهای گوناگون هزینه محاسباتی را تا جای ممکن کاهش دهند.

معمولا از روش تعقیب شوک[1] برای شبیه‌سازیهای عددی تراک گازی استفاده می‌کنند. در این روش محل شوک تراک در هر لحظه مشخص می‌شود و برای حل میدان کافی است در هر پله زمانی از ابتدای لوله تا محل شوک تراک حل شود. این مزیت منجر به کاهش زمان و حجم محاسبات می-شود.

وجود نقطه صوتی (نقطه CJ) در انتهای ناحیه واکنش تراک موجب ایزوله شدن ناحیه واکنش و شوک پیشرو از اغتشاشات جریان دوردست می‌شود. با استفاده از این خاصیت روش دیگری برای

[1] - *Shock Tracking*

کاهش دادن حجم محاسبات پیشنهاد شد. این روش برش دادن میدان با کمک شرایط مرزی مصنوعی[1] در دور دست می‌باشد. در ادامه به معرفی مختصر این نوع شرایط مرزی پرداخته می‌شود.

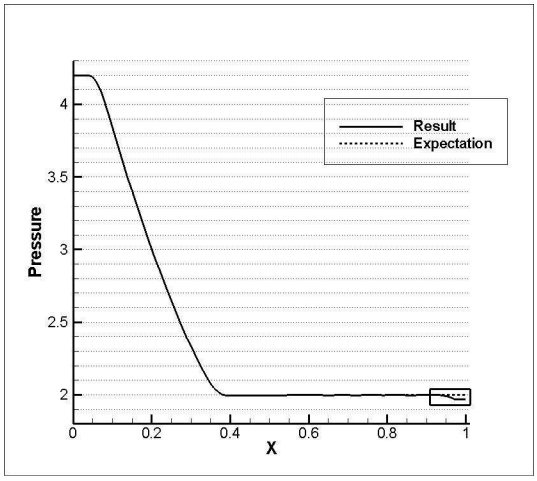
۱-۲- تعریف مسئله

شرایط مرزی از لحاظ فیزیکی برای منطبق کردن مسئله با طبیعت و از لحاظ ریاضی برای خوش-رفتارکردن مسئله، نقش مهمی در شبیه‌سازی جریانهای تراکم‌پذیر بازی می‌کند. در موارد خاص اغلب محاسبه جریان در حوالی ناحیه کوچکی مورد نظر است که در این حالت از شرایط مرزی مصنوعی برای برش دادن میدان و تعیین شرایط مرزی در محل برش استفاده می‌شود. این نوع مرز طول میدان محاسباتی را کاهش داده و محیط نامحدود را برای انجام محاسبات، به یک محیط محدود تبدیل می-کند. استفاده از شرایط مرزی مصنوعی برای برش دادن میدان با توجه به کاهش هزینه محاسباتی موجب فراهم شدن شرایط بهتری برای حل مسئله به کمک کامپیوتر می‌شود.

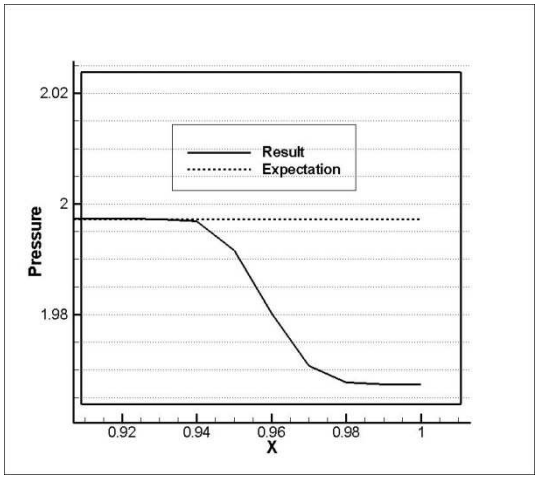
با آنکه استفاده از شرایط مرزی مصنوعی منجر به کاهش هزینه محاسباتی می‌شود اما موجب پدید آمدن یکسری تاثیرات منفی بر نتایج نیز خواهد شد. این اثرات شامل یک سری امواج بدلی (غیر فیزیکی) می‌باشند که به علت گسسته‌سازی صورت گرفته در مرزها به وجود آمده‌اند. این امواج مجازی بر روی محاسبات داخلی تاثیر گذار بوده و منجر به ورود خطا به درون ناحیه محاسباتی می-شود. برای کاهش اثرات مرز مصنوعی بر محاسبات از شرایط مرزی غیرانعکاسی استفاده می‌شود. از جمله مهمترین هدفهای مطالعه حاضر نیز از بین بردن این امواج مجازی به کمک تعریف شرایط مرزی غیرانعکاسی می‌باشد. در شکل(۱-۱) و شکل(۱-۲) می‌توان موج مجازی بوجود آمده در شبیه-سازی مسئله لوله‌ی شوک و تاثیرآن بر نتایج را مشاهده کرد.

[1] - *Artificial Boundary condition*

روشهای مختلفی برای کاهش انعکاسهای مجازی در لبه مرزهای شبکه محاسباتی برش خورده توسعه یافته است که مهمترین آنها عبارتند از روش مجانبی دوردست، روش ناحیه پیشگیری، روش لایه کاملا تطابق یافته و روش مشخصه‌ها(در پیوست الف به معرفی هر چهار روش پرداخته شده است). محققین با کمک روشهای ذکر شده به برش دادن میدان و تعریف شرایط مرزی غیرانعکاسی در شبیه‌سازیهای متعدد عددی مبادرت ورزیده‌اند. در قسمت بعدی به مرور اجمالی بر مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از مرز مصنوعی در شبیه‌سازی عددی تراک گازی پرداخته می‌شود.



شکل (۱-۱)**توزیع فشار در لوله شوک در زمان ۰/۳۵- تاثیر مرز مصنوعی بر نتایج حاصله**



شکل (۱-۲)**موج مجازی تولید شده بر اثر اعمال شرایط مرزی گرادیان برابر صفر– بزرگنمایی مستطیل سمت راست**

۱-۳- مروری مختصری بر مطالعات گذشته

در شبیه‌سازی متعدد یک بعدی و دو بعدی تراک گازی از شرایط مرزی مصنوعی (خصوصا شرایط مرزی گرادیان برابر صفر) برای برش میدان استفاده شده است[۷-۱۰]. در مطالعات صورت گرفته برای کاهش دادن اثرات نامطلوب مرز مصنوعی، میدان محاسباتی به اندازه‌ی کافی بزرگ در نظر گرفته شد. استفاده از این روش موجب ثابت ماندن طول میدان در تمامی مدت محاسبات و کاهش هزینه محاسباتی می‌شود. در سالهای اخیر نیز محققین زیادی از این نوع شرایط مرزی برای برش میدان

محاسباتی استفاده کرده‌اند که از جمله آنها می‌توان به مطالعات لیانگ[1][۱۱, ۱۲]در سال ۲۰۰۵و۲۰۰۷ برای شبیه‌سازی تراک گازی با سینتیک چند مرحله‌ای اشاره کرد.

همانطور که ذکر شد اعمال شرایط مرزی گرادیان برابر صفر برای تعریف مرز مصنوعی موجب بوجود آمدن یکسری امواج مجازی می‌شود که بر نتایج حاصله تاثیر منفی می‌گذارد. برای کاهش اثرات مرز مصنوعی می‌توان از شرایط مرزی غیرانعکاسی در دور دست استفاده کرد. کسیموف[2] (۲۰۰۴) [۱۳] از شرایط مرزی غیرانعکاسی برای تعریف مرز مصنوعی و برش دادن میدان در دوردست برای شبیه‌سازی یک بعدی تراک گازی استفاده کرد. وی برای انرژی فعال‌سازی ۲۵ تا ۲۸ = Ea/RT_0 طول میدان را ۲۰ برابر طول نیمه واکنش در نظر گرفت و فقط برای انرژی فعال‌سازی ۳۵ = Ea/RT_0 این طول را برابر با ۶۰ فرض کرد. وی هیچ بررسی سیستماتیکی بر روی اثر طول میدان بر نتایج انجام نداد. مشخصات مخلوط شبیه‌سازی شده در این مطالعه ۵۰ =Q/RT_0 و ۱/۲ =γ بود.

هان[3] (۲۰۰۳) [۱۴] با در نظر گرفتن مخلوطی با مشخصات Q/RT_0=۵۰ وEa/RT_0=۱۰ و γ=۱/۲ و با استفاده از شرایط مرزی غیرانعکاسی به شبیه‌سازی دو بعدی تراک گازی بیش‌رانده پرداخت. وی برای شبیه‌سازی از معادله اولر واکنشی استفاده کرد و پیشنهاد کرد که حداقل طول میدان محاسباتی دراین حالت باید به حدی باشد که واکنشهای شیمیایی در آن طول انجام شده باشد. وی محلی را که متغیر پیشرفت واکنش برابر 10^{-5}می‌شد را انتهای ناحیه واکنش در نظر گرفت و پیشنهاد کرد که طول میدان باید بزرگتر از ۱۳/۸ برابر طول نیمه واکنش در نظر گرفته شود.

[1] - *Liang*
[2] - *Kasimov*
[3] - *Han*

۱-۴- هدف از تحقیق حاضر

هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر برش دادن میدان محاسباتی به کمک شرایط مرزی غیرانعکاسی بر شبیه‌سازی عددی تراک گازی در حالت یک و دو بعدی و مطالعه اثرات آن بر کاهش زمان محاسبات می‌باشد. از جمله اهداف دیگر مطالعه، یافتن محل مناسب برش دادن میدان محاسباتی می‌باشد. در انتها نیز به مقایسه میزان کاهش زمان محاسبات و دقت نتایج حاصله پرداخته خواهد شد.

۱-۵- مروری بر مطالب پایان نامه

در جهت نیل به اهداف تحقیق حاضر، این پایان نامه در چهار فصل و دو پیوست به شرح زیر تنظیم شده است. در فصل حاضر به تعریف مسئله و اهمیت و ضرورت آن، معرفی صورت مسئله، تاریخچه‌ای از تحقیقات اخیر پرداخته شده است. در فصل دوم به معادلات حاکم و روش حل عددی آنها اختصاص دارد. در این فصل به معرفی کامل شرایط مرزی غیرانعکاسی برای حالتهای یک بعدی و دو بعدی پرداخته شده است. فصل سوم به بررسی نتایج بدست آمده از کار حاضر اختصاص داده شده است. تخمین خطای محاسبات و انجام مطالعه موردی نیز در این فصل صورت گرفته است. استفاده از شرایط مرزی غیرانعکاسی برای برش دادن میدان محاسباتی در شبیه‌سازی یک بعدی و دو بعدی تراک گازی، ارزیابی صحت نتایج حاصله، مقایسه نتایج با نتایج حاصل از روش تطبیق شبکه از دیگر مطالب گنجانده شده در این می‌باشد. فصل چهارم به جمع‌بندی نهایی مطالب مطرح شده، یافته‌های مطالعه حاضر، و پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق با توجه به یافته‌ها و سؤالات جدید، اختصاص یافته است.