دانشکده‌ی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه:

شبیه سازی عددی جریان احتراقی و تولید آلاینده‌های NO_x و دوده در دیفیوزرها و مسیرهای همگرا و اگرا

مولف:

مریم امیری

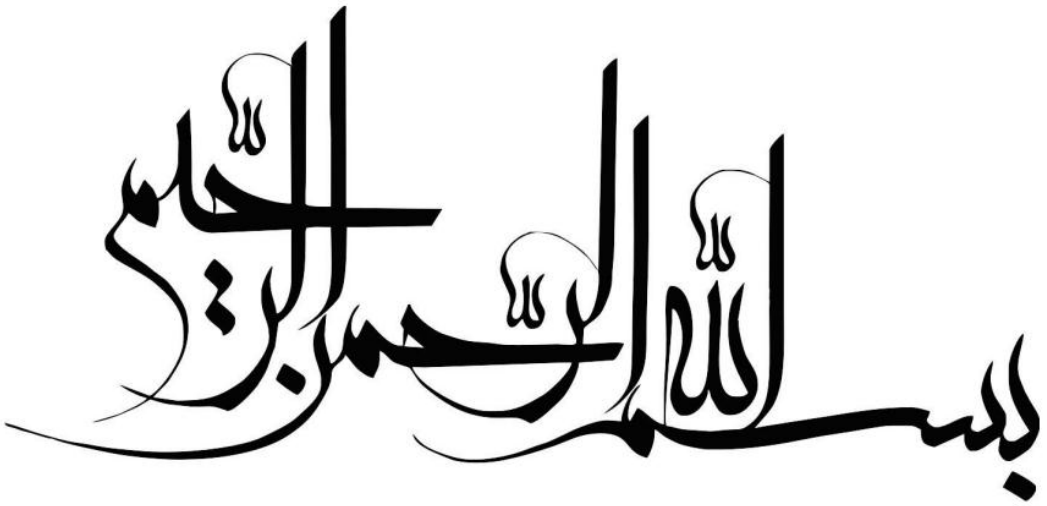
ارائه شده جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی هوافضا

گرایش جلوبرندگی

استاد راهنما:

دکتر محمد مقیمان

دی ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه:

شبیه سازی عددی جریان احتراقی و تولید آلاینده‌های NO_x و دوده در دیفیوزرها و مسیرهای همگرا و واگرا

مولف:

مریم امیری

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشددر رشته مهندسی هوافضا

گرایش جلوبرندگی

استاد راهنما:

دکتر محمد مقیمان

دی ۱۳۹۰

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه خانم مریم امیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هوافضا گرایش جلوبرندگی در ساعت ۱۲ روز دوشنبه ۱۳۹۰/۱۰/۱۹ در محل کلاس ۲۱۶ دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره به عدد .....، به حروف ..... و با درجه ..... مورد تأیید قرار داد / نداد.

عنوان رساله

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان: شبیه سازی عددی جریان احتراقی و تولید آلاینده‌های NO_x و دوده در دیفیوزرها و مسیرهای همگرا و اگرا

هیئت داوران امضا

- **داور: دکتر** دکتر **قاضی خانی**

  دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی

- **داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر جوارشکیان**

  دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی

- **استاد راهنما: دکتر مقیمان**

  استاد گروه مکانیک دانشگاه فردوسی

تصویب نامه‌ی گروه مکانیک

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان: شبیه سازی عددی جریان احتراقی و تولید آلاینده‌های NO_x و دوده در دیفیوزرها و مسیرهای همگرا و اگرا

که توسط **مریم امیری** تهیه و به هیئت داوران ارائه گردیده است مورد تایید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۱۰/۱۹ نمره: درجه ارزشیابی:

اعضاء هیئت داوران:

نام ونام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبه علمی	امضا
۱- دکتر محمد مقیمان	استاد راهنما	استاد	
۲- دکتر قاضی خانی	استاد داور	دانشیار	
۳- دکتر جوارشکیان	استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی	دانشیار	

تأییدیه

گواهی می‌شود که این پایان‌نامه تاکنون برای احراز یک درجه‌ی علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آورده شده است، نتیجه‌ی کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

دانشجو: مریم امیری امضاء تاریخ

استاد راهنما: دکتر محمد مقیمان امضاء تاریخ

قدردانی

سپاس از پروردگار متعال که در همه مراحل زندگی مرا مورد لطف و عنایت خویش قرار داده است. از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر مقیمان، که در طول مدت این پژوهش از راهنمایی های ایشان بهره مند شده ام صمیمانه تشکر می‌نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر و که جهت ارزیابی این پایان‌نامه قبول زحمت کرده‌اند، تشکر نمایم.

مریم امیری

۱۳۹۰/۱۰/۱۹

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف پروژه ۴

۱-۳- مروری بر کارهای انجام شده قبلی ۵

فصل ۲: معادلات حاکم ۹

۲-۱- دستگاه مختصات ۱۰

۲-۲- معادلات برای جریان پایدار ۱۳

۲-۲-۱- معادله بقاء جرم ۱۴

۲-۲-۲- معادله بقاء اندازه حرکت ۱۵

۲-۲-۳- معادله بقاء اجزاء شیمیایی ۱۵

۲-۲-۴- معادله بقاء انرژی ۱۷

۲-۲-۵- معادله حالت ۱۷

۲-۳- قوانین شار ۱۸

۲-۳-۱- انتقال مومنتوم (اثر لزجت) ۱۸

۲-۳-۲- انتقال جرم (نفوذ) ۱۹

۲-۳-۳- انتقال حرارت (هدایت) ۲۰

۲-۴- بکارگیری قوانین شار در معادلات بقاء ۲۰

۲-۴-۱- معادله بقاء اندازه حرکت ۲۰

۲-۴-۲- معادله بقای اجزاء شیمیایی ۲۱

۲-۴-۳- معادله بقاء برای واکنش یک مرحله ای ۲۱
۲-۴-۴- معادله بقاء انرژی..... ۲۲
۲-۵- انتقال معادلات بقاء به سیستم $x\sim\omega$ ۲۳
۲-۶- شکل کلی معادلات بقاء در دستگاه مختصات $x\sim\psi$ ۲۳
۲-۷- طبقه بندی معادلات و رفتار فیزیکی ۲۶
۲-۷-۱- روش طبقه بندی معادلات دیفرانسیل جزئی..... ۲۶
۲-۷-۲- مختصات یک راهه و دو راهه..... ۲۷
۲-۷-۳- مفاهیم محاسباتی ۲۸
۲-۸- آشفتگی و مدل کردن آن..... ۳۰
۲-۸-۱- مدل طول اختلاط ۳۱
۲-۹- مدل‌های احتراقی ۳۵
۲-۹-۱- محاسبه نرخ واکنش ۳۶
۲-۹-۲- نرخ آرنیوس..... ۳۶
۲-۹-۳- مدل شکست گردابه (Eddy Break up) ۳۷
۲-۱۰-رفتار سیال نزدیک دیوار ۳۸
۲-۱۰-۱- معادلات جریان کوئت ۳۹
۲-۱۰-۲- توابع دیوار در جریان دائمی آرام ۴۱
۲-۱۰-۳- توابع دیوار در توابع دائمی مغشوش..... ۴۲
فصل ۳: مدل‌سازی NO_x و دوده ۴۶
۳-۱- مقدمه ۴۷
۳-۲- مضرات NO_x ۴۹
۳-۲-۱- انواع مقیاس های بکار رفته برای اعلام مقادیر مواد آلوده کننده حاصل از احتراق.... ۵۰

۳-۳- مکانیزم‌های تشکیل NOx ۵۱
۳-۳-۱- مکانیزم گرمایی. ۵۲
۳-۳-۲- مکانیزم NO سوخت. ۵۲
۳-۳-۳- مکانیزم NO فوری. ۵۳
۳-۳-۴- مکانیزم N_2O واسطه‌ای. ۵۳
۳-۴- ارزیابی مدل‌های NO ۵۳
۳-۵- روش بکار رفته برای برای محاسبه NO ۵۴
۳-۶- مدل‌سازی ریاضی NO_x ۵۶
۳-۷- مدل‌سازی تشکیل و احتراق دوده ۵۷
۳-۷-۱- مدل‌سازی تشکیل دوده. ۵۸
۳-۷-۲- نمونه‌هایی از مدل‌های تجربی تشکیل دوده. ۵۹
۳-۷-۳- نمونه‌هایی از مدل‌های نیمه تجربی تشکیل دوده. ۵۹
۳-۷-۴- مدل‌سازی احتراق دوده. ۶۰
فصل ۴: روش حل عددی معادلات حاکم ۶۱
۴-۱- روش‌های حل مسائل در سیالات ۶۲
۴-۱-۱- امتیازات روش محاسبات تئوری. ۶۲
۴-۱-۲- روش‌های تئوری ۶۳
۴-۲- گسسته سازی معادلات حاکم ۶۴
۴-۲-۱- گسسته سازی معادلات حاکم به روش قدم به قدم ۶۴
۴-۲-۲- تعیین ضرایب معادله انفصال ۶۶
۴-۲-۳- بحث راجع به مقادیر ضرایب معادله انفصال ۶۹

۴-۳- حل معادلات گسسته.....۷۱
۴-۴- محاسبه میدان فشار.....۷۳
۴-۵- تولید شبکه.....۷۴
فصل ۵: شرایط مرزی - بیان مسئله.....۷۶
۵-۱- هندسه.....۷۷
۵-۲- فرضیات حاکم بر مسئله.....۷۷
۵-۳- شرایط مرزی.....۷۸
۵-۴- ثابت‌های فیزیکی.....۷۹
۵-۴-۱- لزجت ملکولی.....۷۹
۵-۵- روش حل عددی.....۸۰
۵-۶- مراحل عددی.....۸۱
۵-۷- الگوریتم روش عددی.....۸۴
فصل ۶: بحث و نتایج.....۸۵
۶-۱- صحت روش عددی.....۸۶
۶-۱-۱- مسئله اول.....۸۶
۶-۱-۲- مسئله دوم.....۸۷
۶-۱-۳- مسئله سوم.....۸۹
۶-۲- تولید شبکه.....۹۰
۶-۳- بررسی جریان در داخل و خارج دیفیوزر با دیواره تخت.....۹۱
۶-۳-۱- بررسی اثر تغییر زاویه واگرایی در دیفیوزر.....۹۷

۶-۴- بررسی جریان در داخل و خارج مجرای همگرا_ واگرا ۱۰۱
۶-۴-۱- بررسی اثر تغییر زاویه واگرایی بر جریان در مجرای همگرا_ واگرا..... ..... ۱۰۶
۶-۴-۲- بررسی اثر تغییر دمای هوای ورودی بر جریان در مجرای همگرا_ واگرا ۱۰۹
۶-۴-۳- بررسی اثر تغییر نسبت هم‌ارزی بر جریان در مجرای همگرا_ واگرا ۱۱۲
۶-۴-۴- بررسی اثر تغییر نوع سوخت بر جریان در مجرای همگرا_ واگرا ۱۱۵
فصل ۷: جمع بندی و ارائه پیشنهادات ۱۱۹
۷-۱- نتیجه گیری ۱۲۰
۷-۲- پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده ۱۲۲

فهرست علائم

علائم	توضیحات
a	ضریب در معادله دیفرانسیل حاکم عمومی
A	ضریب معادله انفصال
b	ضریب در معادله دیفرانسیل حاکم عمومی
B	ضریب معادله انفصال
c	ضریب در معادله دیفرانسیل حاکم عمومی
c	ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت
C	ضریب معادله انفصال
C	غلظت مولی اجزاء
C_μ	ضریب در معادله پرانتل-کلوموگروف
d	ضریب در معادله دیفرانسیل حاکم عمومی
D	ضریب معادله انفصال
E	ضریب معادله انفصال
E	انرژی اکتیواسیون
F	ضریب معادله انفصال

F	نیرو
G	ضریب معادله انفصال
h	انتالپی
$\tilde{h}$	انتالپی سکون
H	ضریب معادله انفصال
I	پارامتر تعیین فاصله
J	شار نفوذ
l	مقیاس طول اختلاط
l_m	طول اختلاط پرانتل
m	کسر جرمی
$\dot{m}'$	شار جرمی در واحد طول
$\dot{m}''$	شار جرمی در واحد سطح
M	عدد ماخ
Pe	عدد پکلت
P	فشار
p	تابع پی
p	ضریب ثابت
Q	شار حرارتی

r	فاصله تا محور تقارن
r	سرعت واکنش
R	نرخ واکنش شیمیایی
R	ثابت جهانی گازها
Re	عدد رینولدز
s	ضریب استوکیومتری
s	ضریب تنش برشی
S	عدد استانتون
S	ترم چشمه
$S_{\emptyset}$	ترم چشمه مربوط به پارامتر $\emptyset$
T	دمای مطلق
U	سرعت محوری
V	سرعت شعاعی
x, y	مختصات کارتزین
R_f	نرخ واکنش در جهت رفت
R_r	نرخ واکنش در جهت عکس
K_0	فاکتور فرکانس
$\overline{K}$	ثابت تعادل

C_{PR}	ضریب بازیافت فشار

علائم یونانی

α	ضریب ثابت
Γ	ضریب نفوذ
k	ثابت ون کارمن
λ	ضریب هدایت
μ	لزجت دینامیکی
v_t	لزجت سینماتیکی آشفته
ρ	چگالی
σ	عدد پرانتل- اشمیت
τ	تنش برشی
$\emptyset$	تابع وابسته عمومی
ψ	تابع جریان
Ψ	ضریب تابع جریان
ω	کمیت بدون بعد تابع جریان
v'_j	ضریب استوکیومتری جزء واکنشی
v''_j	ضریب استوکیومتری محصول
ε	نرخ استهلاک

Ø	نسبت هم‌ارزی

اندیس ها

C	خارجی ترین نقطه جریان کوئت
D	پایین دست جریان
eff	مقدار موثر پارامتر مربوطه
E	مرز خارجی
EBU	شکست گردابه
fu	سوخت
h	حرارت
I,i	شماره نقاط در هر مقطع
j	جزء شیمیایی
l	جریان آرام
N	تعداد نقاط در هر مقطع
ox	اکسیژن
prod	محصولات
S	سطح
t	جریان مغشوش
tot	مقدار کلی پارامتر مربوطه

U	بالا دست جریان
12	مقطع بین دو خط جریان ۱و۲
+	پارامتر بدون بعد

فرم چکیده پایان‌نامه تحصیلی دوره تحصیلات تکمیلی	دفترمدیریت تحصیلات تکمیلی
نام خانوادگی دانشجو:**امیری خبوشان**نام: **مریم**	
استاد راهنما:**دکتر محمد مقیمان**	
دانشکده: **مهندسی** رشته:**هوافضا** گرایش:**جلوبرندگی**مقطع: **کارشناسی‌ارشد**	
تاریخ دفاع:تعداد صفحات:	
عنوان پایان‌نامه:**شبیه سازی عددی جریان احتراقی و تولید آلاینده‌های NO_x و دوده در دیفیوزرها و مسیرهای همگرا وواگرا**	
کلید واژه‌ها:**مجرای همگرا- واگرا، دیفیوزر، جریان سهموی، احتراق، NO_x ، دوده**	

در این پژوهش جریان مغشوش احتراقی در دیفیوزر و مجرایهمگرا- واگراو خارج از آن‌ها و همچنین مدل‌سازی آلاینده‌های NO_x و دوده به روش عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. انقباض و انبساط شبکه محاسباتی و تطبیق آن بر میدان جریان و همچنین توزیع مناسب گره در داخل ناحیه حل با استفاده از دستگاه مختصات ون میزز،که یکی از مولفه‌های مختصاتی آن خطوط جریان می‌باشند، با یک تابع گسترش مرز انجام شده است. در این دستگاه، معادلات بقای جرم، اندازه حرکت، انرژی و گونه های شیمیایی به شکل عمومی نوشته می‌شود. ماهیت معادلات دیفرانسیل حاکم از نوع پارابولیک می‌باشد. همچنین جریانی که در این تحقیق در نظر گرفته شده، یک جریان غیر قابل تراکم با سیال قابل تراکم می‌باشد. از این رو معادلات حاکم با استفاده از روش گام به گام مکانی حل می‌شوند. معادلات گسسته جبری با استفاده از انتگرالگیری معادلات دیفرانسیل روی المان‌های حجم به‌دست می‌آیند. این معادلات که مقدار متغیر را در هر گره به مقادیر متغیر درگره‌های بالادست و مجاور (بجز پایین دست) ارتباط می‌دهند، با استفاده از الگوریتم ماتریس سه قطری (TDMA) حل می‌شوند. رفتار جریان در مجاورت دیوار با استفاده از روش توابع دیوار محاسبه می‌شود. مدل اغتشاشی که در نظر گرفته شده مدل طول اختلاط پرانتل است. مدل-سازی فرایند احتراق یعنی محاسبه نرخ مصرف سوخت و آزاد شدن انرژی ناشی از آن با استفاده از مدل آرنیوس و مدل شکست گردابه انجام می‌شود. مکانیسم حرارتی(زلدوویچ) جهت مدل‌سازی تشکیل NO_xاستفاده شده است.دما و غلظت بالای اکسیژن از عوامل مهم دراین مکانیزم هستند و تقریباً دراکثر فرایندهای احتراقی مطرح می‌باشد. برای یافتن شدت تولید NO در طی تحول احتراق ،معادله بقاء کسر جرمی NO را حل می‌نماییموبا یافتن شدت واکنش‌ها به سمت جلو و در جهت عکس در مکانیزم زلدوویچ، جمله منبع ایجاد شده و نهایتاً کسر جرمی NO را پیدا می‌کنیم. به منظور مدل‌سازی فرایندهای تشکیل و احتراق دوده به ترتیب مدل‌های خان-گریوز و مگنسن- هرتاگر به‌کار گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده اثر مهم زاویه واگرایی حدی را بر ضریب بازیافت فشار نشان می‌دهد. به دلیل وابستگی شدید آلاینده NO_xبه دمای ماکزیمم شعله، با افزایش دمای ماکزیمم، میزان آلاینده NO_x نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما میزان تشکیل دوده افزایش می‌یابد از طرفی دمای بالای محفظه احتراق سبب احتراق دوده و کاهش آن در خروجی می‌گردد.

فصل اول

مقدمه