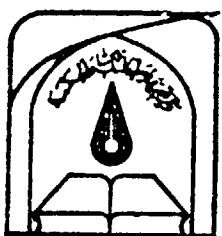


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٢٤٩٢٨



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

مدلسازی عددی احتراق اسپری مایع

محسن نهانی

استاد راهنما

دکتر حسن خالقی

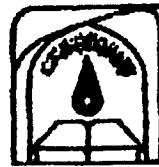
زمستان ۱۳۷۷

۲۴۹۴۱

۱۸۰/۲



۱۳۹۸ / ۴ / ۲۰

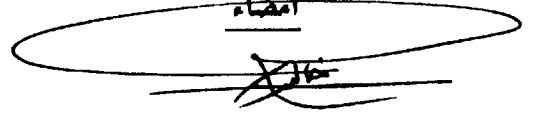


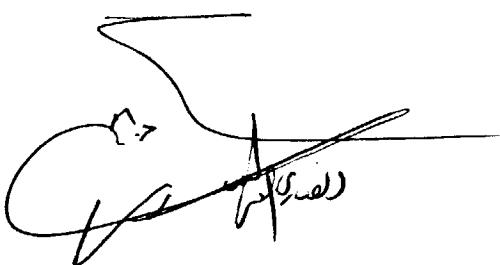
دانشگاه تربیت مدرس

قاییدیه هیات داوران

آقای محسن نهانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان مدلسازی عددی احتراق اسپری مایع در تاریخ ۱۲/۱۱/۷۷ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهانی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرايش تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند. ۱۰۳۰ ب.

امضاء


حسن نهانی


جعفر مظاہری

اعضای هیات داوران
۱- استاد راهنمای:
۲- استاد مشاور:
۳- استادان ممتحن:
۴- مدیر گروه:
(یا نایب‌نده گروه تخصصی)

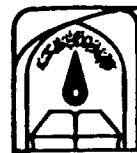
آقای دکتر خالقی

آقای دکتر مظاہری

آقای دکتر فروشچی

آقای دکتر انصاری

شماره:
تاریخ:
پیوست:



آیین نامه چاپ پایان نامه (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 می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبل "به طور کتبی به مرکز نشر 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 مکانیک است
که در سال ۱۳۷۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب
آقای دکتر حسن خلقی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ————— از آن دفاع شده
است».

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت
چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض
فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت
مدرس، تأديه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از بودا خت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت
مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفاده
حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده
برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب محسن نهانی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق
و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

۱۳۷۷
[Handwritten signature]

تقدیم

تقدیم به خانواده عزیزم که دلسوزانه مرا در انجام این مسئولیت

تشویق نمودند و در فراز و نشیب این راه مرا در رسیدن

به موفقیت امیدوار کردند .

تشکر و قدردانی

بر خود واجب میدانم که از استاد بزرگوار و ارجمند جناب

آقای دکتر حسن خالقی که با راهنماییهای ارزشمند خود مرا

در این راه یاری نموده اند تشکر و قدردانی بجای آورم .

چکیده

در این پایان نامه، احتراق جت n-dodecane مایع با تقارن محوری^۱ را که درون محیط گازی (هوا) پاشیده شده و با آن محلوت میگردد و از نوع ۲ بعدی، غیر دائم^۲ و توربولانس میباشد در دستگاه مختصات استوانه ای مورد تحلیل عددی قرار داده ایم. برای مدلسازی میدان جریان اسپری از مدل قطرات مجرزا^۳ که بر اساس روش اولری - لاگرانژی است استفاده نموده و توربولانس را با استفاده از مدل $\epsilon - k$ ، پدیده تبخیر را بوسیله معادلات Johnson & Gosman و اتمیزاسیون را توسط فرمولاسیون Borman & Johnson مدل کرده ایم. واکنش سوختن سوخت، استوکیومتریک و از نوع یک مرحله ای فرض شده و نرخ واکنش توسط روابط آرنیوس و مدل شکست ادی^۴ ها بدست آمده و برای محاسبه زمان واکنش از فرمول تاخیر در اشتعال^۵ ارائه شده توسط Hardenberg & Hase استفاده شده است. اثرات متقابل جریان دوفازی گاز- قطرات و احتراق نیز بصورت جملات منبع^۶ در معادلات ظاهر شده اند.

معادلات با روش عددی حجم های محدود^۷ منفصل گشته و به جز معادلات تصحیح فشار که بصورت کاملاً ضمنی^۸ بوده اند همه معادلات بقای فاز گاز بصورت صریح^۹ منفصل شدند. وابستگی معادلات منفصل شده ضمنی و تابع زمان را بوسیله الگوریتم PISO ازین برده ایم. بنابر این به غیر از معادلات تصحیح فشار، همه معادلات را میتوان به روش نقطه به نقطه^{۱۰} حل نمود و تمییدات خاصی برای آنها لازم نمی باشد. برای حل معادلات تصحیح فشار از یک line solver استفاده شده که معادلات منفصل شده را در امتداد یک خط از گره ها و در یک مرحله زمانی حل می کند. برای سهولت در حل، این معادلات بفرم ۳ قطری در آمده و با استفاده از روش تکرار حل میشوند. بدین ترتیب در مورد زمان از تقریب جلوروند^{۱۱} و در مورد گرادیان فشار در معادله

axisymmetric .۱

unsteady .۲

discrete droplet model (DDM) .۳

eddy break up model .۴

ignition delay .۵

source terms .۶

finite volume .۷

fully implicit .۸

explicit .۹

point by point .۱۰

forward differencing .۱۱

ممتوم از تقریب زمانی عقب رونده استفاده شده که در نهایت منجر به یک تقریب نیمه -
ضمنی میگردد و میتوان با حفظ پایداری معادلات مقدار فاصله زمانی (Δt) را بزرگ نمود. در
جهت مکانی از تقریب ترکیبی که شامل تقریب بالادست و تقریب مرکزی میباشد استفاده شده
که بدین لحاظ می توان برای طیف وسیعی از اعداد رینولدز جریان جوابهای دقیق داشت. به جز
معادلات مربوط به تصحیح فشار که بصورت تکراری و با روش خط به خط حل میگردد،
دستگاه معادلات منفصل شده بصورت نقطه به نقطه حل میشوند.

در مورد معادلات فاز قطره به جز معادلات بقای جرم و انرژی که بصورت نیمه - ضمنی هستندو نیاز به تکرار دارند، بقیه معادلات بفرم صریح میباشند. با این وجود بواسطه اینکه قطرات بدون اندرکنش هستند لذا همه معادلات به نوبت برای هر قطره قابل حل میباشند.



کلید واژه

احتراق اسپری مایع
روش اولری - لاگرانژی
مدل قطرات مجرما
واکنش سوختن

back ward differencing ۱

semi-implicit ۲

hybrid ۳

Upwind ۴

Centeral differencing ۵

iterative ۶

line by line ۷

semi - implicit ۸

non-interacting ۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
	مقدمه
۱ فصل اول - تئوری مدل قطرات مجزا و توصیف میدان پاشش اسپری	۴
۳ ۱-۱. مقدمه	۱-۱
۴ ۱-۲. فرمولاسیون ریاضی	۱-۲
۴ ۱-۲-۱. فرضیات اساسی	۱-۲-۱
۴ ۱-۲-۲. معادلات فاز قطره	۱-۲-۲
۵ ۱-۲-۳. معادلات بقای فاز گاز	۱-۲-۳
۵ ۱-۲-۳-۱. معادله پیوستگی	۱-۲-۳-۱
۷ ۱-۲-۳-۲. معادلات حرکت	۱-۲-۳-۲
۱۱ ۱-۲-۳-۳. معادلات توربولانس	۱-۲-۳-۳
۱۳ ۱-۲-۳-۴. معادله انرژی	۱-۲-۳-۴
۱۴ ۱-۲-۳-۵. معادله جزء جرمی بخار سوخت	۱-۲-۳-۵
۱۴ ۱-۲-۴. اثر حرکت توربولانس بر قطرات	۱-۲-۴
۱۵ ۱-۲-۵. معادلات کمکی	۱-۲-۵
۱۵ ۱-۲-۵-۱. فاز گاز	۱-۲-۵-۱
۱۵ ۱-۲-۵-۱-۱. معادله حالت	۱-۲-۵-۱-۱
۱۵ ۱-۲-۵-۱-۲. لرجت آرام	۱-۲-۵-۱-۲
۱۵ ۱-۲-۵-۱-۳. گرمای ویژه مخلوط	۱-۲-۵-۱-۳
۱۶ ۱-۲-۵-۱-۴. فشار جزء بخار سوخت	۱-۲-۵-۱-۴
۱۶ ۱-۲-۵-۲. فاز مایع	۱-۲-۵-۲
۱۶ ۱-۲-۵-۲-۱. چگالی	۱-۲-۵-۲-۱
۱۶ ۱-۲-۵-۲-۲. گرمای ویژه	۱-۲-۵-۲-۲
۱۶ ۱-۲-۵-۲-۳. گرمای نهان تبخیر	۱-۲-۵-۲-۳
۱۶ ۱-۲-۵-۳. مرز مشترک گاز و مایع	۱-۲-۵-۳
۱۶ ۱-۲-۵-۳-۱. فشار جزئی در سطح قطره	۱-۲-۵-۳-۱

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل دوم - بررسی پدیده احتراق اسپری و تکمیل مدل
۱۶	۱. ثابت گاز ۲-۳-۲
۱۷	۱. لزجت ۲-۳-۳
۱۷	۱. ضریب پخش ۲-۳-۴
۱۷	۱. ضریب هدایت حرارتی ۲-۳-۵
۱۸	۱. مقدمه ۲-۱
۱۸	۲. مشخصه های احتراق اسپری ۲-۲
۲۸	۲-۲. نرخ واکنش ۳
۲۹	۱. عبارت نرخ واکنش و پارامترهای مؤثر در آن ۲-۳-۱
۳۰	۲. فرکانس کلی برخورد ۲-۳-۲
۳۳	۲. معادله آرنیوس ۲-۳-۳
۳۶	۲. انرژی اکتیواسیون ۲-۳-۴
۳۹	۲. واکنش سوختن و شروع احتراق ۴
۴۲	۲-۵. معادلات بقای حاکم بر احتراق
۴۳	۱. معادله پیوستگی ۲-۵-۱
۴۳	۲. معادلات ممتومن ۲-۵-۲
۴۳	۳. معادلات توربولانس ۲-۵-۳
۴۳	۴. معادله انرژی ۲-۵-۴
۴۴	۵. معادله جزء جرمی بخار سوخت ۲-۵-۵
۴۴	۶. معادله جزء جرمی اکسید کننده ۲-۵-۶
۴۵	۷. معادله مریع نوسانات غلظت ۲-۵-۷
۴۵	۸. معادله کلی انتقال ۲-۵-۸
	فصل سوم - ملاحظات و روش حل عددی
۴۷	۱. مقدمه ۳-۱
۴۷	۲. شبکه محاسباتی ۳-۲

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۹	۳-۲. تقریب تقاضهای محدود و انفصال معادلات
۵۰	۳-۳-۱. معادله کلی انتقال
۵۳	۳-۳-۱-۱. معادله پیوستگی
۵۳	۳-۳-۱-۲. معادله ممتد محوری
۵۴	۳-۳-۱-۳. معادله ممتد شعاعی
۵۵	۳-۳-۱-۴. معادلات توربولانس
۵۶	۳-۳-۱-۵. معادله انرژی
۵۷	۳-۳-۱-۶. معادله جزء جرمی بخار سوخت
۵۷	۳-۳-۱-۷. معادله جزء جرمی اکسید کننده
۵۷	۳-۳-۱-۸. معادله مریع نوسانات غلظت
۵۸	۳-۳-۲. معادلات فاز قطره
۵۸	۳-۳-۲-۱. معادلات حرکت
۵۹	۳-۳-۲-۲. معادلات تبخیر قطره
۶۰	۳-۳-۲-۳. اثرات متقابل سرعت های گاز و قطرات
۶۳	۳-۳-۴. الگوریتم PISO و معادله تصحیح فشار
۶۶	۳-۴. شرایط اولیه
۶۷	۳-۵. شرایط مرزی
۶۷	۳-۵-۱. محور تقارن
۶۷	۳-۵-۲. مرز جریان آزاد
۶۷	۳-۵-۳. مرز خروجی جریان
۶۷	۳-۵-۴. مرز ورودی جریان
۶۸	۳-۵-۵. شرایط مرزی در نازل
۶۸	۳-۵-۵-۱. موقعیت قطرات تزریق شده
۶۹	۳-۵-۵-۲. سرعت قطرات تزریق شده
۷۰	۳-۵-۵-۳. مدل اتمیزاسیون
۷۰	۳-۵-۵-۴. قطر و تعداد قطرات تزریق شده

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۱	۶-۵-۳. شرایط مرزی روی دیواره ها
۷۲	۶-۳. تعیین سلول احتراق
۷۳	۶-۳-۳. دیاگرام جریانی مدلسازی اسپری همراه با احتراق
	فصل چهارم - بررسی و جمع بندی نتایج
۷۶	۴-۱. مقدمه
۷۶	۴-۲. شبکه بندی
۷۷	۴-۳. مشخصه های احتراق اسپری
۸۱	۴-۴. اثرات تغییرات فشار و درجه حرارت
۸۱	۴-۵. خواص میدان جریان در حال اشتعال
۹۲	۴-۶. پیشنهادات برای بررسی های بعدی
۹۳	فهرست منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان	شماره
۲	نمایش سیستم‌های احتراق اسپری	----
۱۳	ضرایب ثابت مدل توربولانس	۱-۱
۴۰	جدول خواص سوخت‌های نفتی	۲-۱
	مقادیر ثابت‌های رابطه (۲-۱۸) مربوط به	۲-۲
۴۲	محاسبه نرخ واکنش	
	مقادیر μ , S و Γ برای کمیت‌های گوناگون	۲-۳
۴۶	ϕ در معادله (۲-۲۹)	

فهرست اشکال و نمودارها

صفحه	عنوان	شماره
۶	۱-۱ المان استوانه ای در میدان جریان	۱-۱
۷	۱-۲ تنش های وارد شده بر المانی از یک جریان با تقارن محوری	۱-۲
۱۹	۲-۱ شکل شماتیک احتراق سوخت گازی شکل پیش مخلوط و احتراق اسپری	۲-۱
۲۰	۲-۲ پروفیل های شعاعی درجه حرارت ، سرعت و دبی جرمی قطرات در شعله اسپری	۲-۲
۲۲	۲-۳ کانتورهای سرعت ، توربولانس و درجه حرارت مربوط به شعله اسپری نقطت سفید با $SMD = 45 \mu m$	۲-۳
۲۳	۲-۴ توزیع سرعت و درجه حرارت در شعله اسپری نقطت سفید با $SMD = 45 \mu m$: منحنی ها مربوط به شعله گازی شکل شبیه سازی شده هستند	۲-۴
۲۴	۲-۵ پروفیل های شعاعی درجه حرارت : منحنی ها مربوط به شعله گازی شکل شبیه سازی شده هستند $O SMD = 100 \mu m$ و $\bullet SMD = 45 \mu m$	۲-۵
۲۴	۲-۶ توزیع کمیت های گوناگون در امتداد محور شعله احتراق اسپری	۲-۶
۲۴	۲-۷ توزیع کمیت های گوناگون در امتداد محور شعله پخش شونده گازی شکل	۲-۷
۲۶	۲-۸ نمایش شماتیک یک شعله پخش شونده اسپری هم محور	۲-۸
۳۰	۲-۹ نمایش فاصله مورد نیاز برای برخورد دو مولکول	۲-۹
۳۱	۲-۱۰ نمایش برخوردهای یک مولکول با شعاع ۵ و متحرک با مولکولهای ساکن دیگر. تعداد مولکولهای موجود در حجم جاروب شده توسط این مولکول متحرک برابر با تعداد برخوردهای این مولکول با مولکولهای دیگر است	۲-۱۰
۳۴	۲-۱۱ نمایش جهات ممکن برای برخورد دو مولکول ید و هیدروژن	۲-۱۱
۳۵	۲-۱۲ نمایش واپستگی ثابت ویژه نرخ واکنش به درجه حرارت	۲-۱۲
۳۵	۲-۱۳ نمایش واپستگی مقدار ثابت ویژه نرخ واکنش به محدوده درجه حرارت برای واکنش های مختلف	۲-۱۳

فهرست اشکال و نمودارها

صفحه	عنوان	شماره
	۲-۱۴ نمایش تغییر فاصله بین دو اتم در یک مولکول در اثر نزدیک شدن	
۳۷	یک اتم آزاد	
	۲-۱۵ تغییرات انرژی پتانسیل در طی مختصه واکنش : a. واکنش گرمایش a	
۳۷	b. واکنش گرمایش b	
	۲-۱۶ منحنی های تغییرات غلظت مواد اولیه و محصولات بر حسب زمان ،	
۳۸	c. معرف بخشی از غلظت مواد اولیه است که در واکنش شرکت میکنند	
۴۸	۳-۱ نمایش شبکه محاسباتی	
۴۸	۳-۲ نمایش حجم کنترلهای کمیت های اسکالر و بردار سرعت	
	۳-۳ نمایش استفاده از میانیابی خطی بین گره های مجاور برای محاسبه ضرایب وزنی	
۵۲		
۵۴	۳-۴ جزئیات حجم کنترل سرعت های محوری	
۵۵	۳-۵ جزئیات حجم کنترل سرعت های شعاعی	
۶۸	۳-۶ نمایش هندسه سلول پاشش	
۷۵	۳-۷ دیاگرام جریانی شبیه سازی اسپری همراه با احتراق	
۷۷	۴-۱ نمایش شبکه بتندی میدان حل در تحلیل عددی	
	۴-۲ توزیع سرعت روی خط مرکزی برای شعله اسپری n-dodecane	
۷۸	با $SMD = 45 \mu m$	
	۴-۳ توزیع پروفیل شعاعی درجه حرارت برای شعله اسپری n-dodecane	
۷۸	با $SMD = 45 \mu m$	
۷۹	۴-۴ منحنی تغییرات درجه حرارت قطره و مقایسه مدل های مختلف تبخیر	
۷۹	۴-۵ منحنی رفتار کلی قطره ای از توده اسپری	
۸۰	۴-۶ شعله پخش شونده اسپری بدست آمده از نتایج عددی	
۸۲	۴-۷ اثر تغییرات فشار و دما بر نرخ واکنش بر حسب دما	
۸۴	۴-۸ نمایش میدان سرعت در لحظات مختلف احتراق	
۸۵	۴-۹ نمایش توزیع درجه حرارت در لحظات مختلف احتراق	
۸۶	۴-۱۰ نمایش توزیع فشار در لحظات مختلف احتراق	